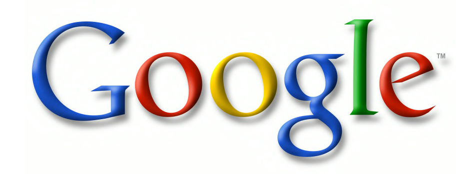


Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

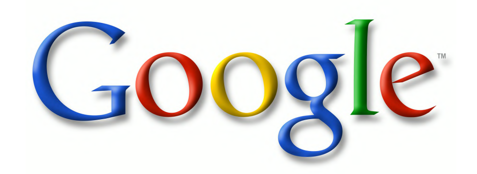
Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

+ *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.
+ *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.
+ *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.
+ *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página `http://books.google.com`



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

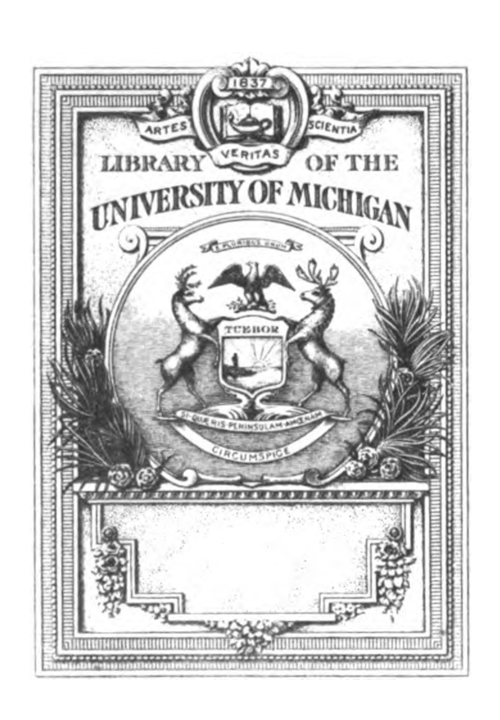
Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

B 1,066,024



Digitized by Google

Q
184
.24

Digitized by Google

Digitized by Google

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **A. Schmidt** in Cöln a. Rh., **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang 1924.



Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1924.



Digitized by Google

Gen.
Harr.

Inhaltsverzeichnis.


Digitized by Google

Referate.


Digitized by Google

Seite


Digitized by Google

Bücherbesprechungen.


Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

APR 10 1924

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ für Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben unter Mitwirkung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang.

1924.

1. Heft: Januar.

Inhalt:

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1924.

Digitized by Google

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande nur durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Die Berechnung erfolgt heftweise.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei $^1/_4$ $^1/_2$ $^1/_1$ Seite Umfang
22.50 45.— 90.— Goldmark

Bei 6 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist
10 20% Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,20 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum Berliner Dollarbriefkurs des Vortages der Zahlung. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungsdatum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) nur auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Rücksendung von Bildstöcken erfolgt zu Lasten der Eigentümer.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 23/24.
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch-Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118 935 Julius Springer.



Gegründet 1897

Universitäts-Mechaniker-Konstrukteur
Erzeuger wissenschaftlicher Apparate
für Physiko-Photo-Chemie
für Universitäts- Hochschul-
Industrie-Laboratorien



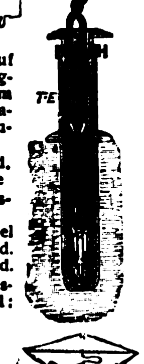
Wissenschaftliche Apparate in vervollkommneter und vereinfachter Art und Ausführung nach ersten Autoren-Angaben gebaut für Physiko-Photo-Kolloid-Bio-Chemie-Forschungs-Laboratorien und für Industrie-Laboratorien.

Dauernde wissenschaftliche Apparate-Ausstellung

Studien- und Handelshaus für In- und Ausland. Eigene feinmechanisch-optische Apparate. Thermostat-Bau-Werkstätten und Labor-Glasbläserei. Feintechnik-Labor-Versuchs-Werkstätten und Photo-Labor für Neukonstruktion. Ausführung und Erzeugung von Versuchs-Modell-Laboratorium-Apparaten. Präzise Ausführung und Ausarbeitung in dem wissenschaftlichen Spezial-Gebiet nach bewährter Erfahrung vermöge der vielseitig ausgebildeten und ausgezeichneten Fabrikations-Einrichtung



Erste Auszeichnungen auf Weltausstell. f. erfolgreiche Mitarbeit im Forschungs-Apparate-Bau der Wissenschaft
St. Louis 1904: Gold. Mitarbeitermedaille
Kaiserl. Gesundheitsamt: Silb. Med.
Großer Preis Brüssel 1910: Vier Gold. Med. Silb. Med. Bronz. Med.
Intern. Hygiene-Ausstellg. Dresden 1911: Gold. Medaille
Städteausstellung Düsseldorf 1913: Dank für erfolgreiche Mitarbeit



Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Soeben erschien:

Industriebetriebslehre

Die wirtschaftlich-technische Organisation des Industriebetriebes mit besonderer Berücksichtigung der Maschinenindustrie

Von

Dr.-Ing. **E. Heidebroek**

Professor an der Technischen Hochschule Darmstadt

Mit 91 Textabbildungen und 3 Tafeln (VI, 286 S.)
Gebunden 17,50 Goldmark / Fürs Ausland 4,20 Dollar




Gegründet 1791

[6197]

HILDEBRAND

Präzisions-Instrumente

für alle Zweige des Vermessungswesens

MAX HILDEBRAND früher August Lingke & Co. G. m. b. H. FREIBERG-SACHSEN 50

Digitized by Google

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium.

Prof. Dr. h. c. H. **Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. R. **Straubel**,
Prof. Dr. F. **Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIV. Jahrgang. **Januar 1924.** Erstes Heft.

Die Einstellgenauigkeit bei Mollenkopfschen Werkstattwasserwagen.

Von
Prof. Dr. **H. Löschner** in Brünn.

I. Einleitung.

Die beliebten Mollenkopfschen Rundlibellen[1]) haben bekanntlich die Füllungsflüssigkeit in einem einzigen Glaskörper luftdicht eingeschlossen und es ist dadurch der Nachteil der früheren Dosenlibellen: das allmähliche Verdunsten der Füllungsflüssigkeit, vermieden. Sie haben seit ihrer ersten Herstellung im Jahre 1902 stets wachsende Anwendung und Verbreitung gefunden und genießen heute Weltruf. Die von der Firma F. Mollenkopf in Stuttgart überwundene Schwierigkeit bestand darin, den kurzen zylindrischen Glaskörper mit dem kugelförmig ausgeschliffenen Boden (dem späteren Oberteil der Libelle) zuzuschmelzen, ohne den Schliff und die Krümmung der Kugelhaube zu verändern.

Die Firma Mollenkopf ist nun in neuerer Zeit (seit 1919) wieder mit einer bemerkenswerten praktischen Neuerung hervorgetreten, indem sie Patent-Werkstattwasserwagen (Schutzmarke „Kopf") mit eigenartiger gußeiserner Fassung erzeugt[2]). Man kann dabei zwei Hauptformen unterscheiden: 1. Taschenwasserwagen, wobei zwei Rundlibellen zum Horizontal- beziehungsweise Vertikalstellen von ebenen Flächen oder zylindrischen Achsen verbunden sind; 2. Präzisionsschnellwasserwagen, die außer zwei Rundlibellen für das erste Horizontieren (Grob-Einstellen) und für das Vertikalstellen noch eine feinere Röhrenlibelle zum scharfen Horizontieren (Fein-Einstellen) von ebenen Flächen und zylindrischen Achsen besitzen[3]).

Die Fassung der Patent-Werkstattwasserwagen hat unten je nach der Type entweder lediglich eine ebene Grundfläche zum Aufsetzen der Libelle auf horizontal zu stellende Ebenen oder eine solche ebene Aufsetzfläche nebst axialem, furchenförmigem Ausschnitt, um auch zylindrische Achsen horizontal stellen zu können, oder endlich (bei den hier abgebildeten Wasserwagen mit weitestgehender Anwendungsmöglichkeit, Fig. 1 u. 2) überdies oben eine Horizontalfläche mit furchenförmigem Einschnitt, um die Wasserwage auch unterhalb von horizontal zu stellenden Ebenen

[1]) Der Ausdruck Dosenlibelle ist hier weniger zutreffend.

[2]) Die Konstruktion und Patentanmeldung erfolgte im Jahre 1915. Da im Kriege die Gußlieferung an Private verboten war, konnte mit der fabrikmäßigen Herstellung erst im Jahre 1919 begonnen werden. Die Wasserwagen Mollenkopfs sind patentiert in Deutschland, Schweiz, Spanien, England, Italien, Frankreich, Amerika, Japan.

[3]) Auf diese neuen Mollenkopf-Wasserwagen ist auch in einer kurzen Notiz von Prof. Dr. Hammer (*Zeitschr. f. Feinmechanik 1921, S. 100*) aufmerksam gemacht.

Digitized by Google

oder Achsen anlegen zu können. Richtschräubchen sind nirgends angebracht: die Patent-Werkstattwasserwagen zeigen durchweg „feste“ Fassung.

Bei den Schnellwasserwagen verwendet Mollenkopf Röhrenlibellen, bei denen das Libellenglas über dem Schleifdorn nicht nur längs einer Mantellinie des Hohlzylinders ausgeschliffen ist, sondern auch tonnenförmig. Die Anwendung solcher Libellen bei Wasserwagen ist eine Neuerung. Es wird dadurch der Libellenkreuzung entgegengearbeitet, so daß die Libelle gleichmäßig zeigt, auch wenn die Blase sich nicht genau unter der Längsachse der Skala befindet, also die Libelle etwas zur Seite geneigt ist.

Im nachfolgenden werden die Taschenwasserwage Type „Lore“ und die Präzisionsschnellwasserwage Type „Walter“ eingehender besprochen.

„Lore“ (Fig. 1) zeigt eine Verbindung zweier Rundlibellen in gußeiserner Fassung mit genau geschabten Aufsatz- und Anlegeflächen für ebene und zylindrische Körper. Bei dem meiner Lehrkanzlei gelieferten Exemplar hat die für das **Horizontieren** von Ebenen, Achsen oder Wellen (also bei wagrechtem Anschlag) gebrauchte Rundlibelle 1 die Empfindlich-

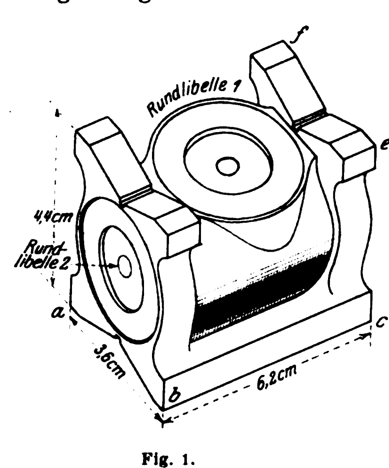


Fig. 1.

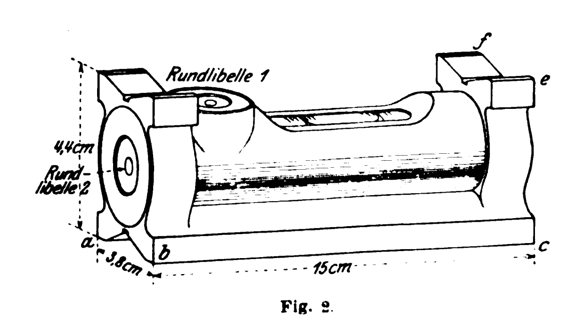


Fig. 2.

keit von 9,5′ für 2 mm Blasenverschiebung (Schliffhalbmesser $r = \frac{3438 \cdot 2}{9,5}$ mm $= 0,7$ m) und die für das **Vertikalstellen** (bei lotrechtem Anschlag) gebrauchte Rundlibelle 2 die Empfindlichkeit von 11′ für 2 mm Blasenverschiebung ($r = 0,6$ m). Die Empfindlichkeiten dieser wie auch der später noch genannten Libellen wurde auf einem Libellenprüfer von **Rost** (Nr. 299) mit Parswert 4,12″ von dem Assistenten Ing. **Karl Slanina** sorgfältigst ermittelt und sind die Ergebnisse Mittelwerte aus je 20, durch möglichst große Bewegung der Libellenblase erhaltenen Einzelwerten. (Für diese Untersuchungen wurden auf die Deckflächen der Libellen Papierstreifen mit 2 mm-Teilung aufgeklebt.)

Ich habe die Taschenwasserwage „Lore“ versuchsweise mittels Riemen an eine Nivellierlatte anschnallen lassen und sie zur Vertikalstellung solcher Latten auch geeignet befunden.

Die Präzisionsschnellwasserwage Type „Walter“ (Fig. 2) zeigt die zweckmäßige Kombination einer Rundlibelle für die *erste*, weniger feine Horizontierung (Grob-Einstellung) mit einer Röhrenlibelle für die *feine* Horizontierung (Fein-Einstellung). Eine zweite Rundlibelle an einer der Stirnflächen der Fassung ermöglicht die Vertikalstellung ebener oder zylindrischer Körper.

Die Verwendung solcher Präzionsschnellwasserwagen wird überall dort erwünscht sein, wo es sich um möglichst genaue horizontale Lagerung von Achsen und ebenen

Digitized by Google

Flächen handelt, wie z. B. bei der Montierung von Maschinenbestandteilen, Lagerschalen, Transmissionswellen, dann im Brückenbau, im Hochbau usw. Das aufeinanderfolgende Grob- und Fein-Horizontieren (wie es auch beim Nivellieren ähnlich ist) erleichtert und beschleunigt das Horizontalstellen.

Bei dem meiner Lehrkanzel gelieferten Exemplar „Walter" haben die beiden Rundlibellen die Empfindlichkeit von 20′ für 2 mm Blasenverschiebung (Schliffhalbmesser $r = 0{,}34$ m); die Röhrenlibelle hat die Empfindlichkeit von 1,04″ für 2 mm Blasenverschiebung ($r = 6{,}4$ m).

II. Über den Einstellfehler.

Mit den vorbeschriebenen Wasserwagen „Lore" und „Walter" wurden auf einem Libellenprüfer von R. u. A. Rost (Nr. 263) Beobachtungen zur Ermittlung der Einstellgenauigkeit für einspielende Libelle durchgeführt. Die Trommel der Kippschraube am Libellenprüfer hat 100 Teile; der Winkelwert eines solchen Teiles ist mit 4,01″ sorgfältigst ermittelt worden.

Der Vorgang bei der Untersuchung war der übliche: Auf die Legeplatte des Libellenprüfers wurde die Wasserwage aufgesetzt, die zu untersuchende Libelle mit Hilfe der Kippschraube wiederholt zum Einspielen gebracht und die zugehörige Trommelablesung gemacht. (Zur Vermeidung des toten Ganges wurde die Kippschraube stets von der gleichen Seite her bis zur Schlußstellung gedreht.) Keine der Libellenblasen klebte oder zog nach.

Die Beobachtungsergebnisse sind aus den Tabellen 1 bis 5 ersichtlich.

Tabelle 1.

Wasserwage „Lore"		Rundlibelle 1 (zur Horizontalstellung von Ebenen und zylindrischen Wellen) Markenkreisdurchmesser 6,0 mm Blasenranddurchmesser 5,3 mm bei 20° C Spielraum zwischen Markenkreis und Blase 0,3 mm	
Nr.	Trommelablesung für einspielende Libelle	v	vv
1	12,4	+ 0,7	0,49
2	10,3	+ 2,8	7,84
3	10,7	+ 2,4	5,76
4	12,2	+ 0,9	0,81
5	14,6	− 1,5	2,25
6	15,7	− 2,6	6,76
7	11,9	+ 1,2	1,44
8	13,6	− 0,5	0,25
9	13,3	− 0,2	0,04
10	16,3	− 3.2	10,24
	Mittel: 13,10	0,0	35,88

Die Tabelle 1 ergibt für Rundlibelle „Lore" 1 den mittleren Einstellfehler:

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \pm\ 2{,}0 \text{ Trommelteile},$$

oder nach Multiplikation mit dem Teilwerte (4,01″) des Libellenprüfers:

$$\varepsilon = \pm\ 8{,}0'' \qquad 1)$$

Digitized by Google

Tabelle 2.

Wasserwage „Lore“		Rundlibelle 2 (für vertikalen Anschlag) Markenkreisdurchmesser 6,5 mm Blasenranddurchmesser 5,2 mm bei 20° C Spielraum zwischen Markenkreis und Blase 0,6 mm	
Nr.	Trommelablesung für einspielende Libelle	v	vv
1	10,0	+ 0,04	0,0016
2	10,5	− 0,46	0,2116
3	12,6	− 2,56	6,5536
4	10,3	− 0,26	0,0676
5	10,9	− 0,86	0,7396
6	8,4	+ 1,64	2,6896
7	10,0	+ 0,04	0,0016
8	8,7	+ 1,34	1,7956
9	9,4	+ 0,64	0,4096
10	9,6	+ 0,44	0,1936
	Mittel: 10,04	0,00	12,6640

Die Tabelle 2 liefert für Rundlibelle „Lore“ 2 den mittleren Einstellfehler:

$$\varepsilon = \pm\sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \pm\ 1{,}19 \text{ Trommelteile (à } 4{,}01''\text{)},$$

also $$\varepsilon = \pm\ 4{,}8''. \qquad 2)$$

Tabelle 3.

Wasserwage „Walter“		Rundlibelle 1 (zur Horizontalstellung von Ebenen und zylindrischen Wellen) Markenkreisdurchmesser 7,0 mm Blasenranddurchmesser 5,4 mm bei 20° C Spielraum zwischen Markenkreis und Blase 0,8 mm	
Nr.	Trommelablesung für einspielende Libelle	v	vv
1	8,3	− 1,37	1,8769
2	6,9	+ 0,03	0,0009
3	7,7	− 0,77	0,5929
4	8,9	− 1,97	3,8809
5	7,3	− 0,37	0,1369
6	4,2	+ 2,73	7,4529
7	4,9	+ 2,03	4,1209
8	7,1	− 0,17	0,0289
9	7,8	− 0,87	0,7569
10	6,2	+ 0,73	0,5329
	Mittel: 6,93	0,00	19,3810

Die Tabelle 3 ergibt für Rundlibelle „Walter“ 1 den mittleren Einstellfehler:

$$\varepsilon = \pm\sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \pm\ 1{,}47 \text{ Trommelteile (à } 4{,}01''\text{)},$$

$$\varepsilon = \pm\ 5{,}9''. \qquad 3)$$



Tabelle 4.

Wasserwage „Walter“		Rundlibelle 2 (für vertikalen Anschlag) Markenkreisdurchmesser 7,2 mm Blasenranddurchmesser 5,4 mm bei 20° C Spielraum zwischen Markenkreis und Blase 0,9 mm	
Nr.	Trommelablesung für einspielende Libelle	v	vv
1	99,2	+ 0,97	0,9409
2	97,4	+ 2,77	7,6729
3	98,2	+ 1,97	3,8809
4	97,8	+ 2,37	5,6169
5	101,7	− 1,53	2,3409
6	102,4	− 2,23	4,9729
7	100,1	+ 0,07	0,0049
8	103,1	− 2,93	8,5849
9	99,1	+ 1,07	1,1449
10	102,7	− 2,53	6,4009
	Mittel: 100,17	0,00	41,5610

Die Tabelle 4 ergibt für Rundlibelle „Walter“ 2 den mittleren Einstellfehler:

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \pm\, 2{,}15 \text{ Trommelteile (à } 4{,}01''),$$

also

$$\varepsilon = \pm\, 8{,}6''. \tag{4}$$

Tabelle 5.

Wasserwage „Walter“		Röhrenlibelle Unterbrochene Teilung, beiderseits 6 Teile à 2,0 mm Teilungslänge (mit Abstand der beiderseitigen Nullpunkte) 42 mm Blasenlänge 25,1 mm bei 19,7° C.	
Nr.	Trommelablesung für einspielende Libelle	v	vv
1	10,4	+ 0,29	0,0841
2	10,2	+ 0,49	0,2401
3	10,7	− 0,01	0,0001
4	10,7	− 0,01	0,0001
5	10,4	+ 0,29	0,0841
6	11,1	− 0,41	0,1681
7	10,9	− 0,21	0,0441
8	10,1	+ 0,59	0,3481
9	11,2	− 0,51	0,2601
10	11,2	− 0,51	0,2601
	Mittel: 10,69	0,00	1,4890

Aus Tabelle 5 folgt für die Röhrenlibelle „Walter“ der mittlere Fehler im Einstellen auf den Spielpunkt mit:

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = 0{,}41 \text{ Trommelteile (à } 4{,}01''),$$

also

$$\varepsilon = \pm\, 1{,}6''. \tag{5}$$

Digitized by Google

Die Änderung der Blasenlänge mit der Temperatur ergab sich aus Beobachtungen im Zimmer bei 19,7° C (Blasenlänge 25,1 mm) und im Freien 5,8° C (Blasenlänge 31,3 mm) mit 0,45 mm für 1° C.

Unter Zugrundelegung der bekannten Beziehung zwischen der Libellenangabe (Empfindlichkeit) τ und dem Einstellfehler ε:

$$\varepsilon'' = k\sqrt{\tau''}, \tag{6}$$

folgen für die untersuchten Libellen die in der Zusammenstellung von Tabelle 6 angeführten Werte k.

Tabelle 6 (Zusammenstellung).

Wasserwage	Libelle	Angabe pro 2 mm-Teil in Minuten	Mittlerer Einstellfehler ε in Sekunden ε''	Mittlerer Einstellfehler ε in Skalenteilen à 2 mm ε_t	k
„Walter"	Röhrenlibelle	1′ 04″	1,6″	0,025	0,20
„Lore"	Rundlibelle 1	9′ 30″	8,0″	0,014	0,33
	Rundlibelle 2	11′ —	4,8″	0,007	0,19
„Walter"	Rundlibelle 1	20′ —	5,9″	0,005	0,17
	Rundlibelle 2	20′ —	8,6″	0,007	0,25

Der mittlere Einstellfehler in Skalenteilen (ε_t) ergibt sich aus dem Verhältnis $\frac{\varepsilon''}{\tau''}$. Setzt man darin $\varepsilon'' = k\sqrt{\tau''}$, so folgt:

$$\varepsilon_t = \frac{k}{\sqrt{\tau''}}. \tag{6*}$$

Bei wachsender Libellenangabe τ wächst also der mittlere Einstellfehler, wenn er in Sekunden (ε'') ausgedrückt ist; er nimmt aber ab, wenn er in Skalenteilen (ε_t) ausgedrückt ist.

Diese Tatsache, die schon Prof. Dr. Reinhertz aus zahlreichen Beobachtungen abgeleitet hat[1]), ist auch aus Tabelle 6 ersichtlich. (Man könnte den Einstellfehler in Sekunden als absoluten Einstellfehler und den Einstellfehler in Skalenteilen als relativen Einstellfehler bezeichnen.)

Für die vier Rundlibellen ergibt sich ein mittlerer Wert $k = 0{,}23$, also rund 0,2 in gleicher Größe wie für die Röhrenlibelle.

Man kann somit für die Röhrenlibelle und die Rundlibellen praktisch setzen:

$$\varepsilon'' = 0{,}2\sqrt{\tau''}, \tag{7}$$

wobei sich τ'' auf den Strichabstand 2 mm bezieht.

Bekanntlich hat Prof. Dr. Reinhertz aus einer langen Reihe von Beobachtungen über Röhrenlibellen den mittl. Einstellfehler mit $0{,}1\sqrt{\tau}$, den mittl. Ablesefehler für den Stand der Libelle mit $0{,}2\sqrt{\tau}$ ermittelt, wobei τ sich auf den Strichabstand von einer Pariser Linie (2.26 mm) bezog.

Prof. Dr. Lorber[2]) hat darauf hingewiesen, daß man in der Praxis, namentlich bei Beobachtungen im Felde, die vollkommene Unveränderlichkeit der Libelle nicht verbürgen und daher

[1]) *Diese Zeitschr. 1890, S. 313f.* und *Zeitschr. f. Verm. 1891, S. 259f.;* vgl. auch Jordan-Reinhertz: Handbuch der Vermessungskunde Bd. II. S. 173. 1904.

[2]) Das Nivellieren, Wien 1894, S. 155.

Digitized by Google

den Einstell- und Ablesefehler gleichsetzen könne, und zwar mit $0{,}2\sqrt{\tau}$, also mit dem in Gl. 7) auf Grund der hier bearbeiteten Beobachtungen abgeleiteten Werte. (Der geringe Unterschied im Strichabstand nimmt keinen fühlbaren Einfluß.)

Die untersuchten Mollenkopf-Rundlibellen haben einen feinen, tiefschwarzen Einstellkreis. Bei den Beobachtungen macht man die Erfahrung, daß die Libellenblase mit dem Gefühle größerer Sicherheit und größerer Schärfe zum Einspielen gebracht wird, wenn Einstellkreis und Blasenrand wohl deutlich voneinander getrennt sind (also einen deutlichen Ring zwischen sich lassen), aber auch wieder keinen zu großen Abstand voneinander haben. Ein Abstand zwischen 0,5 bis 1 mm scheint am günstigsten[1]). (Der in Tabelle 1 vorkommende Abstand von 0,3 mm erschien schon weniger angenehm.)

III. Über den Justierfehler der Wasserwagen bei Gebrauch der horizontalen Aufstellflächen.

Die Mollenkopf-Werkstattwasserwagen haben keine Justierschräubchen. Um zu erfahren, welcher konstante Fehler ihnen infolge unvollkommener Justierung anhaftet, wurden sie auf dem Justierbrett von Rost Nr. 263 (mit dem Trommelteilwert 4,01″) durch Umsetzen über genau verzeichneter Basis geprüft.

Die Art und Weise der Ermittlung des Justierfehlers δ geht aus den nachfolgenden Tabellen 7 bis 15 hervor.

Tabelle 7.

Wasserwage „Walter“: Röhrenlibelle (Beobachtungen vom 5. 4. 1923)

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\Delta = 2\delta$	δ	v	vv
	Lage I	Lage II				
1	32,2	24,8	7,4	3,70	$-0{,}49_5$	$0{,}2450_{25}$
2	31,3	24,8	6,5	3,25	$-0{,}04_5$	$0{,}0020_{25}$
3	30,8	24,8	6,0	3,00	$+0{,}20_5$	$0{,}0420_{25}$
4	31,2	24,7	6,5	3,25	$-0{,}04_5$	$0{,}0020_{25}$
5	31,1	25,0	6,1	3,05	$+0{,}15_5$	$0{,}0240_{25}$
6	31,3	24,9	6,4	3,20	$+0{,}00_5$	$0{,}0000_{25}$
7	31,0	24,2	6,8	3,40	$-0{,}19_5$	$0{,}0380_{25}$
8	31,1	24,9	6,2	3,10	$+0{,}10_5$	$0{,}0110_{25}$
9	31,1	25,1	6,0	3,00	$+0{,}20_5$	$0{,}0420_{25}$
10	31,1	24,9	6,2	3,10	$+0{,}10_5$	$0{,}0110_{25}$
				Mittel: $3{,}20_5$	$0{,}00_0$	$0{,}4172_{50}$

Der Justierfehler ist demnach $3{,}20_5 \cdot 4{,}01'' = \underline{12{,}9''}$

und der mittlere Fehler dieses Wertes ist $\sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} = \underline{\pm 0{,}3''}$.

[1]) Vgl. Samel, *Zeitschr. f. Verm. 1911, S. 159.*

Digitized by Google

Tabelle 8[1]).

Wasserwage „Walter“: Rundlibelle 1, untersucht für die Richtung des Längsschnittes der Wasserwage (4. 4. 1923).

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\Delta = 2\delta$	δ
	Lage I	Lage II		
1	13,6	9,7	3,9	1,95
2	12,1	10,6	1,5	0,75
3	12,4	12,1	0,3	0,15
4	12,2	11,2	1,0	0,50
5	10,0	12,3	2,3	1,15
6	9,8	9,0	0,8	0,40
7	10,4	8,1	2,3	1,15
8	10,6	10,3	0,3	0,15
9	11,0	10,2	0,8	0,40
10	11,4	12,8	1,4	0,70

Mittel: 0,73

Der Justierfehler ergibt sich darnach mit 2,9″ ± 0,7″.

Tabelle 9.

Wasserwage „Walter“: Rundlibelle 1, untersucht für die Richtung des Querschnittes der Wasserwage (7. 4. 1923).

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\Delta = 2\delta$	δ
	Lage I	Lage II		
1	91,8	95,7	3,9	1,95
2	91,2	94,6	3,4	1,70
3	92,4	95,8	3,4	1,70
4	92,2	96,1	3,9	1,95
5	91,0	94,9	3,9	1,95
6	92,0	95,6	3,6	1,80
7	91,2	95,8	4,6	2,30
8	91,8	96,1	4,3	2,15
9	90,7	94,8	4,1	2,05
10	90,9	95,1	4,2	2,10
11	91,1	95,3	4,2	2,10

Mittel: 1,98

Der Justierfehler ist darnach 7,9″ ± 0,2″.

Tabelle 10.

Wasserwage „Walter“: Rundlibelle 2, untersucht für die Richtung des Längsschnittes der Wasserwage[2]) (5. 5. 1923).

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\Delta = 2\delta$	δ
	Lage I	Lage II		
1	75,5	77,4	1,9	0,95
2	73,1	78,7	5,6	2,80
3	74,4	79,1	4,7	2,35
4	74,6	78,4	3,8	1,90
5	75,1	79,1	4,0	2,00
6	75,1	79,6	4,5	2,25
7	74,0	77,7	3,7	1,85
8	74,7	79,8	5,1	2,55
9	73,9	79,7	5,8	2,90
10	73,7	80,0	6,3	3,15
11	74,2	80,2	6,0	3,00

Mittel: 2,34

Der Justierfehler ist darnach 9,4″ ± 0,8″.

Tabelle 11.

Wasserwage „Walter“: Rundlibelle 2, untersucht für die Richtung des Querschnittes der Wasserwage (7. 4. 1923).

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\Delta = 2\delta$	δ
	Lage I	Lage II		
1	96,3	81,6	14,7	7,35
2	94,3	82,2	12,1	6,05
3	95,6	82,6	13,0	6,50
4	94,9	82,0	12,9	6,45
5	93,6	82,2	11,4	5,70
6	95,4	81,7	13,7	6,85
7	94,5	81,9	12,6	6,30
8	94,8	81,6	13,2	6,60
9	93,9	82,1	11,8	5,90
10	95,2	81,9	13,3	6,65
11	94,1	82,4	11,7	5,85

Mittel: 6,38

Der Justierfehler ist darnach 25,6″ ± 0,6″.

[1]) In den nachfolgenden Tabellen sind die Spalten für v und vv aus Ersparungsrücksichten weggelassen.

[2]) Die Wasserwage war bei den Untersuchungen der Tabellen 10, 11, dann 14 und 15 auf die der Rundlibelle 2 gegenüberliegende Stirnfläche aufgesetzt.

Digitized by Google

Tabelle 12.

Wasserwage „Lore“: Rundlibelle 1, untersucht für die Richtung des Längsschnittes der Wasserwage (4. 4. 1923).

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\varDelta = 2\delta$	δ
	Lage I	Lage II		
1	1,3	8,0	6,7	3,35
2	3,2	9,1	5,9	2,95
3	6,4	11,4	5,0	2,50
4	6,8	10,7	3,9	1,95
5	5,8	8,6	2,8	1,40
6	6,8	10,0	3,2	1,60
7	6,4	11,3	4,9	2,45
8	4,7	9,9	5,2	2,60
9	4,0	9,7	5,7	2,85
10	3,4	10,9	7,5	3,75

Mittel: 2,54

Der Justierfehler ist darnach 10,2″ ± 0,9″.

Tabelle 13.

Wasserwage „Lore“: Rundlibelle 1, untersucht für die Richtung des Querschnittes der Wasserwage (7. 4. 1923).

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\varDelta = 2\delta$	δ
	Lage I	Lage II		
1	85,8	93,3	7,5	3,75
2	84,2	92,8	8,6	4,30
3	83,0	91,6	8,6	4,30
4	83,1	93,8	10,7	5,35
5	81,4	93,1	11,7	5,85
6	81,3	93,2	11,9	5,95
7	81,5	92,9	11,4	5,70
8	80,8	92,3	11,5	5,75
9	80,3	92,2	11,9	5,95
10	80,1	92,6	12,5	6,25
11	79,1	92,7	13,6	6,80

Mittel: 5,45

Der Justierfehler ist darnach 13,1″ ± 0,4″.

Tabelle 14.

Wasserwage „Lore“: Rundlibelle 2, untersucht für die Richtung des Längsschnittes der Wasserwage (4. 4. 1923).

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\varDelta = 2\delta$	δ
	Lage I	Lage II		
1	5,6	12,7	7,1	3,55
2	8,8	13,2	4,4	2,20
3	11,4	16,7	5,3	2,65
4	13,6	15,8	2,2	1,10
5	12,6	16,1	3,5	1,75
6	10,2	13,8	3,6	1,80
7	12,0	16,7	4,7	2,35
8	11,2	16,8	5,6	2,80
9	13,2	16,4	3,2	1,60
10	10,3	17,5	7,2	3,60

Mittel: 2,34

Der Justierfehler ist darnach 9,4″ ± 1,0″.

Tabelle 15.

Wasserwage „Lore“: Rundlibelle 2, untersucht für die Richtung des Querschnittes der Wasserwage (7. 4. 1923).

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\varDelta = 2\delta$	δ
	Lage I	Lage II		
1	112,3	60,2	52,1	26,05
2	109,7	57,4	52,3	26,15
3	110,7	55,7	55,0	27,50
4	112,9	64,6	48,3	24,15
5	110,2	66,4	43,8	21,90
6	105,8	66,2	39,6	19,80
7	108,4	62,6	45,8	22,90
8	109,7	66,2	43,5	21,75
9	110,4	51,7	58,7	29,35
10	107,7	50,6	57,1	28,65
11	110,4	58,4	42,0	21,00

Mittel: 24,47

Der Justierfehler ist darnach $1{,}38_1''$ ± 3,9″.

In Tabelle 16 sind die Justierfehler zusammengestellt, wie sie sich beim Aufsetzen der Wasserwagen auf horizontale Flächen ergeben haben.

Digitized by Google

Tabelle 16.

Zusammenstellung der Justierfehler bei Verwendung der Wasserwagen zum Horizontieren von ebenen Flächen und Wellen.

Wasserwage	Libelle	Untersuchte Richtung nach Längs- bzw. Querschnitt der Wasserwage	Justierfehler δ
„Walter"	Röhrenlibelle	Längsschnitt	12,9″ ± 0,3″
„	Rundlibelle 1	Längsschnitt	2,9″ ± 0,7″
„	„	Querschnitt	7,9″ ± 0,2″
„	Rundlibelle 2	Längsschnitt	9,4″ ± 0,8″
„	„	Querschnitt	25,6″ ± 0,6″
„Lore"	Rundlibelle 1	Längsschnitt	10,2″ ± 0,9″
„	„	Querschnitt	13,1″ ± 0,4″
„	Rundlibelle 2	Längsschnitt	9,4″ ± 1,0″
„	„	Querschnitt	1,38,″ ± 3,9″

IV. Über den Justierfehler der Wasserwagen bei Gebrauch der vertikalen Anschlagflächen.

Bei der Untersuchung der für vertikalen Anschlag bestimmten Rundlibellen war eine exakt gearbeitete Stahlwelle (mit Durchmesser von 4,25 cm) auf das Justierbrett aufgesetzt. Diese Stahlwelle ist eigens für den vorliegenden Zweck in der Werkstätte der Lehrkanzel für Maschinenbau II des Prof. Ing. Fürstenau mit besonderer Sorgfalt gedreht worden, wofür ich zu Dank verpflichtet bin. Der Durchmesser der Stahlwelle ist über deren ganze Länge vollkommen gleich. Die diesbezügliche Prüfung erfolgte mit exakter Stahl-Schublehre. Die Aufstellfläche der Welle war naturgemäß rechtwinklig zur Achse. Da es aber hierauf bei unveränderlichem Stand der Stahlwelle auf dem Justierbrett nicht ankommt, ist in der Figur 3 dieser rechte Winkel nicht eingehalten. Für das Umsetzen der Wasserwage bei vertikalem Anschlag wurden auf der Welle zwei diametrale Anschlaglinien verzeichnet, die natürlich parallel sein müssen (weshalb auf gleiche Durchmesser längs der Welle geachtet wurde).

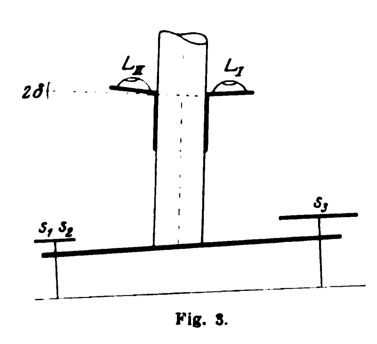


Fig. 3.

Bei der Untersuchung habe ich (unter gleichzeitigem Festdrücken der überdies ziemlich schweren Welle mit der linken Hand) die Wasserwage mit der rechten Hand an die jeweils gebrauchte Anschlaglinie der Welle gehalten. Das Einstellen der Libelle erfolgte dann nach meinen Beobachtungen und Angaben vom Assistenten Ing. Slanina mittels der Mikrometerschraube S_3 des Libellenprüfers, wobei darauf gesehen wurde, daß zwischen zwei zusammengehörigen Ablesungen kein Wechsel im Drehungssinn der Mikrometerschraube erfolgte. (Beim Zurückdrehen der Schraube wurde sie absichtlich über ihre Anfangsstellung hinaus zurückgedreht, um auch die Anfangsstellung mit in gleichem Sinne gedrehter Schraube zu erhalten.)

Die Beobachtungsergebnisse sind aus den Tabellen 17 bis 20 ersichtlich. Die zur Berechnung der mittleren Fehler notwendigen Verbesserungen v und deren Quadrate vv sind darin wieder weggelassen.

Digitized by Google

Tabelle 17.

Wasserwage „Walter“, Rundlibelle 2. Untersucht nach Längsschnitt der Wasserwage.

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\Delta = 2\delta$	δ
	Lage I	Lage II		
1	81,4	142,7	61,3	30,65
2	71,4	141,2	69,8	34,90
3	64,8	130,4	65,6	32,80
4	66,6	126,2	59,6	29,80
5	66,6	124,4	57,8	28,90
6	54,0	118,0	64,0	32,00
7	63,7	131,0	67,3	33,65
8	60,6	135,5	74,9	37,45
9	62,1	131,1	69,0	34,50
10	59,4	134,8	75,4	37,70
11	61,0	133,2	72,2	36,10

Mittel: 35,50

Der Justierfehler ist $33{,}50 \cdot 4{,}01'' = \underline{2'14''}$

und dessen mittl. Fehler $\sqrt{\frac{[vv]}{n\,(n-1)}} = \pm\, \underline{3{,}6''}$.

Tabelle 18.

Wasserwage „Walter“, Rundlibelle 2. Untersucht nach Querschnitt der Wasserwage.

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\Delta = 2\delta$	δ
	Lage I	Lage II		
1	315,1	78,8	236,3	118,15
2	313,6	64,8	248,8	124,40
3	320,0	77,7	242,3	121,15
4	321,7	78,0	243,7	121,85
5	322,6	76,7	245,9	122,95
6	322,9	77,4	245,5	122,75
7	329,4	76,4	253,0	126,50
8	323,9	82,9	241,0	120,50
9	327,4	72,7	254,7	127,35
10	328,8	77,8	251,0	125,50
11	322,3	70,7	251,6	125,80

Mittel: 123,35

Der Justierfehler ist $123{,}35 \cdot 4{,}01'' = \underline{8'14{,}6''}$

und dessen mittl. Fehler $\sqrt{\frac{[vv]}{n\,(n-1)}} = \pm\, \underline{3{,}6''}$.

Tabelle 19.

Wasserwage „Lore“, Rundlibelle 2. Untersucht nach Längsschnitt der Wasserwage.

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\Delta = 2\delta$	δ
	Lage I	Lage II		
1	76,6	108,4	31,8	15,90
2	70,9	102,4	31,5	15,75
3	68,6	106,2	37,6	18.80
4	62,2	111,2	49,0	24,50
5	58,1	116,2	58,1	29,05
6	57,7	100,3	42,6	21,30
7	54,2	111,8	57,6	28,80
8	56,1	103,5	47,4	23,70
9	54,4	116,1	61,7	30,85
10	57,0	106,1	49,1	24,55
11	56,1	106,7	50,6	25,30

Mittel: 23,50

Der Justierfehler ist $\underline{1'34{,}2'' \pm 6{,}2''}$.

Tabelle 20.

Wasserwage „Lore“, Rundlibelle 2. Untersucht nach Querschnitt der Wasserwage.

Nr.	Trommelablesung am Justierbrett bei einspielender Libelle		Differenz $\Delta = 2\delta$	δ
	Lage I	Lage II		
1	120,2	120,2	—	—
2	114,1	118,0	3,9	1,95
3	115,1	115,1	—	—
4	107,2	120,8	13,6	6,80
5	100,9	123,1	22,2	11,10
6	99,7	128,6	28,9	14,45
7	116,5	114,4	2,1	1,05
8	107,1	107,1	—	—
9	107,4	107,4	—	—
10	93,7	108,8	15,1	7,55
11	88,7	108,4	19,7	9,85

Mittel: 4,80

Der Justierfehler ist $\underline{19{,}2'' \pm 6{,}4''}$.


Digitized by Google

Tabelle 21.

Zusammenstellung der Justierfehler bei Verwendung der Wasserwagen zum Vertikalstellen von ebenen Flächen und Wellen.

Wasserwage	Libelle	Untersuchte Richtung	Justierfehler
„Walter“	Rundlibelle 2	Längsschnitt	$2'14'' \pm 3{,}6''$
		Querschnitt	$8'15'' \pm 3{,}4''$
„Lore“	Rundlibelle 2	Längsschnitt	$1'34'' \pm 6{,}2''$
		Querschnitt	$19'' \pm 6{,}4''$

V. Zusammenfassung.

Die Mollenkopfschen Werkstattwasserwagen haben „feste“ Libellen ohne Justierschräubchen. Kleinere Typen haben nur Rundlibellen; die Präzisionsschnellwasserwagen haben neben Rundlibellen, die das flüchtige Einstellen bezwecken, noch eine Röhrenlibelle zum Feineinstellen. Die Rundlibellen der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Wasserwagen haben eine Angabe von 10 bis 20′ für 2 mm Teilstrichabstand, die Röhrenlibelle hat die Angabe von 1′ für 2 mm Teilstrichabstand.

Der Fehler für sorgfältiges Einstellen auf den Spielpunkt kann nach den vorliegenden Untersuchungen sowohl für die Rundlibellen als auch für die Röhrenlibelle mit $0{,}2\sqrt{\tau}$ angesetzt werden, also für die Rundlibellen mit der Angabe $\tau = 10'$ mit 5″, für die Rundlibellen mit $\tau = 20'$ mit 7″ und für die Röhrenlibelle mit $\tau = 1'$ mit 1,5″.

Für die von mir untersuchten zwei Wasserwagen hat sich noch folgendes ergeben:

Die Rundlibellen zeigen beim Aufsetzen auf horizontale Flächen im allgemeinen einen viel kleineren Justierfehler als beim Anlegen an vertikale Flächen oder Wellen, das heißt: Die Horizontalstellung von Ebenen und Wellen ist mit diesen festen Libellen schärfer ausführbar als die Vertikalstellung. Bei den Präzisions-Schnellwasserwagen wird die Horizontalstellung noch durch die Röhrenlibelle verschärft, die einen Justierfehler von nur rd. 13″ (also $^1/_5\,\tau$) im Längsschnitt aufweist.

Die Justierfehler, die sich auf die zum Horizontalstellen verwendete Basis der Rundlibellen beziehen, sind so klein, daß sie bei den hier in Frage kommenden Anwendungen vernachlässigbar sind. Es ist übrigens das Bestreben der Werkstätte erkennbar, den Justierfehler nach dem Längsschnitt als der Hauptrichtung durchwegs sehr niedrig zu halten (vgl. Tabelle 16: Spitzenwerte für den Längsschnitt bei „Lore“ [mit $\tau = 10'$] gleichwie bei „Walter“ [mit $\tau \doteq 20'$] rund 10″, für den Querschnitt bei „Walter“ $^1/_4{}'$, bei „Lore“ über $1^1/_4{}'$).

Auch beim Benützen der vertikalen Anschlagflächen zeigen die beiden untersuchten Rundlibellen für viele Zwecke der Praxis (namentlich auch für den Maschinenbau) durchaus zulässige Justierfehler: nämlich nach dem Längsschnitt $1^1/_2$ und $2^1/_4{}'$, nach dem Querschnitt 19″ und $8^1/_4{}'$ (vgl. Tabelle 21). Will man möglichst scharfe Vertikalstellung erreichen, so wird man Libellen, die nach dem Querschnitt größere Justierfehler aufweisen, nur nach dem Längsschnitt beobachten. (Ein Justierfehler von 2′ läßt das obere Achsenende einer 5 m hohen Säule um nur 2,9, also rd. 3 mm von der Vertikalen durch den Achsenfußpunkt abweichen). Allenfalls kann man sich vom Justierfehler durch Beobachten der Libelle in zwei um 180° verschiedenen Lagen unabhängig machen.

Digitized by Google

Über kleine Kapazitätsnormale[1]).

Von
Dr. **H. Hermann** in Tübingen.

1. Der Zuleitungsfehler der Kugel.

Keller hat in seinen *Studii analitici sull'elettrostatica*[2]) für den Fall senkrechter Stellung einer gleichförmig geladenen Geraden zur Oberfläche einer unmittelbar benachbarten leitenden Kugel gefunden, daß die neutrale Linie, welche die beiden Gebiete gleichnamiger und ungleichnamiger Influenz trennt, auf einem Kegel von der Öffnung $66^0\,12^1/_2{}'$ mit der Spitze im Kugelmittelpunkt um die Gerade als Achse liegt. Die neutrale Linie ist aber der Ort, an welchem die Potentialstandfläche des Feldes, welche die Kugel zweiblätterig umschließt, einblätterig in den Raum hinaustritt. Das Potential auf dieser Standfläche läßt sich näherungsweise berechnen, wenn man annimmt, daß die Lage der Standfläche außerhalb der Kugel durch das Einbringen der Kugel nicht merklich verschoben worden sei. Erhöht man nun das Potential der Kugel auf dasjenige der geraden Linie, so ist (Keller a. a. O. § 12) als Kapazität für die Berechnung der dazu erforderlichen Ladung diejenige der freien Kugel zu gebrauchen. Also ist die Kapazität der Kugel durch die Anwesenheit der Geraden vermindert im Verhältnis der Differenz zwischen Potential auf der Geraden und Potential auf der neutralen Linie zu dem Potential auf der Geraden. (Dieses Verhältnis ist der Potentialkoeffizient der Geraden auf die Kugel oder umgekehrt.)

Auf der als langes Drehellipsoid mit den Achsen l (Länge) und $2r$ (Dicke) betrachteten Geraden ist das Potential bei der Dichte 1 gleich log nat $(l^2 : r^2)$; auf der neutralen Linie der Kugel (Halbmesser R) mit der Kegelöffnung Θ ist es

$$\log\text{nat}\frac{l + R(1-\cos\Theta) + \sqrt{(l + R(1\cos\Theta))^2 + R^2\sin^2\Theta}}{R(1-\cos\Theta + \sqrt{R^2(1-\cos\Theta)^2 + R^2\sin^2\Theta}},$$

oder

$$\log\text{nat}\frac{l:R + 1 - \cos\Theta + \sqrt{[l:R + (1-\cos\Theta)]^2 + \sin^2\Theta}}{1-\cos\Theta + \sqrt{2(1-\cos\Theta)}},$$

also die relative Kapazitätsverminderung

$$\alpha = \frac{\log\{l:R + 1 - \cos\Theta + \sqrt{[l:R + (1-\cos\Theta)]^2 + \sin^2\Theta} - \log(1-\cos\Theta + \sqrt{2(1-\cos\Theta)})\}}{\log(l^2 : r^2)}$$

unabhängig vom Logarithmensystem. Im Briggischen ist, wenn $\sin^2\Theta$ im Zähler gegen $l^2 : R^2$ vernachlässigt wird, die relative Verminderung

$$\alpha = \frac{\log\text{brigg}\{l:R + 0{,}60\} + 0{,}072}{2\log\text{brigg}(l:r)}. \qquad 1)$$

Für den kapazitätsmindernden Einfluß eines Zuleitungsdrahtes an einer Kugel ist dies, weil die Ladung auch auf dem Draht geringer wird als hier vorausgesetzt, ein oberer Grenzwert.

---

[1]) Nach dem Vortrag vor dem math.-nat. Verein in Württemberg, 7. Mai 1922. Die elementarsten Teile des Vortrags sind in der Abhandlung über die Messung der Kapazität eines Elektrometers, *Praktische Schulphysik* **3**, *42* (Vandenhoeck & Rupprecht, 1923) wiedergegeben. Die Abschnitte 5 und 6 der jetzigen Abhandlung waren in dem Vortrag noch nicht enthalten.

[2]) *Nuovo Cimento,* 1875.

Digitized by Google

2. Kapazitätsmeßverfahren für Becherelektroskope.

Zwecks Prüfung der Anwendbarkeit der Formel bestimmte ich das Verhältnis n der Kapazität C eines Elektroskopes mit Faradaybecher zur Kapazität c der Kugel bei Anwendung verschiedener Zuleitungen auf folgende Weise.

Das Elektroskop wird an einer Quelle konstanter Spannung aufgeladen und der Ausschlag an einer beliebigen, aber feinen Teilung notiert oder im Projektionsbild markiert. Das Zurückgehen des Ausschlages beim Entfernen der Verbindung ist nicht in Betracht zu ziehen. Es beruht zwar darauf, daß erst jetzt die Kapazität den gefragten Wert annimmt; dabei sinkt aber das Potential unter dasjenige der Spannungsquelle, und auf die Wiederherstellung des letzteren kommt es an. Nun werde das Instrument entladen, die Kugel durch eine von derselben Spannungsquelle kommende Zuleitung geladen und durch n-malige Übertragung dieser Ladung in den Becher der vorige Ausschlag wiederhergestellt; dann ist $CV = ncV$, wo V die Spannung der Ladestelle bedeutet, also $C:c = n$. Ist n keine ganze Zahl, so muß mit Hilfe der Teilung zwischen den Ausschlägen der unter und über n liegenden ganzen Zahlen n eingeschaltet werden.

Um den Ladungsverlust des Elektroskops während dieser Aufladung auszuschalten, bediene ich mich des Kunstgriffs der Umladung. Das Elektroskop wird, nach der Entladung, durch Influenz auf die Spannung $-V$ geladen; dann ist zur Herstellung der Spannung $+V$ die Ladung $2CV$ erforderlich, welche durch $2n$ Kugelladungen geliefert wird. Findet dabei ein nicht zu schneller Ladungsverlust statt, so hebt er sich annähernd heraus, weil er den Abbau von $-V$ nahezu ebensoviel beschleunigt, wie er den Aufbau von $+V$ verzögert.

Bei einem Kugelhalbmesser von 1,55 cm ergaben sich für die Zuleitungshalbmesser r[1]) folgende n-Werte, deren Zunahme der Abnahme von c bei dickerer Zuleitung entspricht:

$2r$	0,1	0,3	0,76	1,1	1,65
n	20,35	22,0	23,45	25,15	26,13
$n(1-\alpha)$	15,0	14,3	14,9	14,9	14,9.

Die letzte Zeile zeigt, daß Formel 1) in diesem Fall, in welchem allerdings die großen Halbmesser weitere theoretisch nicht berücksichtigte Einflüsse haben, zu einem fast vollkommenen Ausgleich führt. Nur bei den beiden ersten ist der theoretisch zu erwartende Überausgleich (Umkehrung des Ganges von n) zu bemerken.

3. Aufhebung des Zuleitungsfehlers durch einen geerdeten (kondensierenden) Draht.

Stellt man dem Zuleitungsdraht als Gegenfüßler einen die Kugel fast berührenden geerdeten Draht gegenüber, so wird unter bestimmten Bedingungen ihre Kapazität wieder hergestellt.

Nennt man die Kugel Konduktor 1, die Zuleitung 2, den geerdeten Ausgleichsdraht 3, so ist der Zustand des Systems nach Berührung der Kugel mit der Zu-

[1]) Die Zuleitungen (Drähte und Messingrohre) wurden auf dem Knopf eines Braunschen Elektrometers befestigt, welches zur Kontrolle der konstanten Ladespannung diente. Die Aufladung geschah mit Elektrisiermaschine und paralleler Leidenerflasche durch einen am geerdeten Gehäuse entlang führenden, also der Fernwirkung beraubten Draht. Bei der Handhabung dieser Versuchsanordnung leistete meine Frau ausdauernde und sorgfältige Beihilfe.

Digitized by Google

leitung und geringer Trennung, durch Potentiale V, Ladungen E, Potentialkoeffizienten p und Influenz- bzw. Kapazitätskoeffizienten q folgendermaßen bedingt:

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= p_{11} E_1 + p_{21} E_2 + p_{31} E_3 \\ E_2 &= q_{12} V_1 + q_{22} V_2 + q_{23} V_3 \\ E_3 &= q_{13} V_1 + q_{23} V_2 + q_{33} V_3 \end{aligned}\right\} \text{wobei } V_1 = V_2 = V, \quad V_3 = 0 \text{ (Erdung); also}$$

$$V_1 = p_{11} E_1 + p_{21} q_{12} V_1 + p_{21} q_{22} V_1 + p_{31} q_{13} V_1 + p_{31} q_{23} V_1$$

$$\frac{p_{11} E_1}{V_1} = 1 - (p_{21} q_{12} + p_{21} q_{22} + p_{31} q_{13} + p_{31} q_{23}). \qquad 2)$$

Hierin ist ($\gtrless$ bedeutet im folgenden wenig größer bzw. kleiner) $p_{11} < 1:R$ (die Kapazität der Kugel durch den isolierten Draht wenig vermindert), folglich die linke Seite, wenn wie gewünscht $E_1 : V_1 = R$ werden soll, wenig kleiner als 1, so daß die Klammer eine kleine positive Größe werden muß; also, weil auch $p_{21} < p_{31} < 1$ (denn der Potentialkoeffizient ergänzt die relative Kapazitätsminderung der Kugel zu 1, und 3 ist jedenfalls länger als 2), oder

$$1 - \frac{p_{21}}{p_{31}} > 0,$$

$-q_{12} < -q_{13}$ (Influenz der Drähte auf die Kugel), $q_{23} < 0$ (gegenseitige Influenz der Drähte, klein)

$$\frac{p_{21}}{p_{31}} q_{22} + q_{23} + \frac{p_{21}}{p_{31}} q_{12} + q_{13} > 0.$$

Nun ist nach Maxwells Deutung der Influenzkoeffizienten[1]) $-2 q_{12}$ gleich der Summe der Einzelkapazitäten von Draht q_{22} und Kugel q_{11}, vermindert um die Kapazität q der vereinigten beiden Körper; andererseits ist $+2 q_{12}$ nahezu dasselbe wie der oben vorkommende Ausdruck

$$\frac{p_{21}}{p_{31}} q_{12} + q_{13};$$

folglich kann geschrieben werden

$$\frac{p_{21}}{p_{31}} q_{22} + q_{23} - q_{22} - q_{11} + q > 0,$$

oder

$$q \lessgtr q_{11} - q_{23} + q_{22} \left(1 - \frac{p_{21}}{p_{31}}\right); \qquad 3)$$

in Worten: Kugel mit Zuleitung vereinigt muß eine von der freien Kugel wenig verschiedene Kapazität haben.

Nach diesem Verfahren ließ sich für die oben erwähnte Kugel von $R = 1{,}55$ cm der Faktor α bei einer Zuleitung von $l = 38$ cm Länge und $r = 0{,}15$ cm Halbmesser zu 28% ermitteln[2]), während Formel 1) $\alpha = 30{,}8\%$ ergibt.

4. Die Antennennadel, eine Kapazität ohne Zuleitungsfehler.

Eine Kapazität ohne Zuleitungsfehler erhält man durch einen Körper, welcher im Augenblick der Berührung oder Trennung von einem andern Leiter eine Potentialstandfläche eines berechenbaren Verteilungszustandes darstellt. Handelt es sich beispielsweise um Vergleich mit einer Elektrometerkapazität, so möge das Elektrometergehäuse oben zu einer wagerechten Ebene vergrößert werden, welche vom Feldleiter

---

[1]) Elektrizität und Magnetismus I, Deutsch von Weinstein, *S. 107*, Gl. 7.

[2]) Die Messung ist beschrieben: *Praktische Schulphysik* a. a. O. *S. 43—44*.

Digitized by Google

nur in einer kleinen Durchbohrung isoliert durchsetzt wird, über welche derselbe nicht hervorragt. Senkrecht über ihm werde eine lineare gleichförmig verteilte Ladung angenommen; die Potentialstandflächen dieser Ladung sind berechenbar wie folgt.

Die geladene Linie heiße AB, ihr Spiegelbild an der Ebene CD; die Projektion des Feldpunktes P auf AB heiße F. Das Potential, welches die Ladung auf AB bei der Längendichte ϱ in P hervorruft, heiße V; es ist nach dem Prinzip der elektrischen Bilder

$$\frac{V}{\varrho} = \log\text{nat}\,\frac{PAF \cdot PBF}{PF^2} - \log\text{nat}\,\frac{PDF}{PCF} = \log\text{nat}\,\frac{PAF \cdot PBF \cdot PCF}{PF^2 \cdot PDF}.$$

Im obigen Fall liegt B in der Ebene, C fällt mit B zusammen. Die Länge AB heiße l; die Kapazität der durch P gehenden Potentialstandfläche heiße K; ihre Gleichung ist

$$e^{\frac{l}{K}} = C = \frac{PAF \cdot PBF^2}{PF^2 \cdot PDF} = \frac{(\sqrt{r^2 + (l-z)^2} + l - z)(\sqrt{r^2 + z^2} + z)^2}{r^2 (\sqrt{r^2 + (l+z)^2} + l + z)}, \qquad 4)$$

wo r, z die Koordinaten von P mit dem Ursprung B und der Z-Achse in AB, der R-Achse in der Ebene bedeuten.

Für das obere Ende versagt diese Formel; man muß dann den gleichbedeutenden Ausdruck benutzen, welchen man erhält, wenn F oberhalb von A liegt

$$\frac{V}{\varrho} = \log\frac{PBF}{PF} - \log\frac{PAF}{PF} - \log\frac{PDF}{PCF} = \log\frac{PBF \cdot PCF}{PBF \cdot PDF}\left(\text{bzw.}\ \frac{PBF^2}{PAF \cdot PDF}\right),$$

und erhält insbesondere für $r = 0$

$$C = \frac{FBF^2}{FAF \cdot FDF} = \frac{z^2}{(z-l)(z+l)}; \quad z = l\sqrt{\frac{C}{C-1}}. \qquad 5)$$

Rechnerisch erhält man den zweiten Ausdruck aus 4) durch Multiplikation mit

$$1 = \frac{r^2}{(\sqrt{r^2 + z^2} + z)(\sqrt{r^2 + z^2} - z)},$$

er lautet dann

$$C = \frac{(\sqrt{r^2 + z^2} + z)(\sqrt{r^2 + (l-z)^2} + l - z)}{(\sqrt{r^2 + z^2} - z)(\sqrt{r^2 + (l+z)^2} + l + z)}. \qquad 6)$$

Beschränkt man sich zunächst auf Standflächen, welche sich von der geladenen Lotlinie wenig entfernen, so ist auch für kleine z-Werte r noch klein gegen z und desto mehr gegen l. In der Nähe der Ebene ist somit annähernd

$$C = \frac{2z}{r^2 : 2z} = \left(\frac{2z}{r}\right)^2$$

und die Fläche beginnt mit einem Kegel vom Steigungsverhältnis

$$\frac{z}{r} = \frac{1}{2}\sqrt{C}. \qquad 7)$$

Setzt man die Flächenkapazität gleich der eines freien Drahtes von der Länge l und dem Halbmesser r_0, dessen Kapazität

$$K = \frac{l}{2\log\text{nat}\, l : r_0}$$

wäre, so ist

$$\frac{l}{2r_0} = \frac{1}{2}C^{\frac{l}{2K}} = \frac{1}{2}\sqrt{C};$$

Digitized by Google

mit anderen Worten, der Kegel schneidet diesen Zylinder in der Mitte seiner Mantellinien.

Wenn z gegen l nicht mehr zu vernachlässigen ist, wird der zweite Faktor des Logarithmanden

$$\frac{\sqrt{r^2+(l-z)^2}+l-z}{\sqrt{r^2+(l+z)^2}+l+z} \approx \frac{l-z}{l+z}$$

ein echter Bruch; daher muß, damit C unverändert bleibt, der erste Faktor $\frac{4\,z^2}{r^2}$ zunehmen. Die Oberfläche wölbt sich also; die Mantellinien der Berührkegel werden steiler und schließlich senkrecht beim Meistwert von r. Dieser ergibt sich durch Differentiieren der Gl.

$$C = \frac{4\,z^2}{r^2}\,\frac{l-z}{l+z},$$

was auf die Bedingung führt

$$-\frac{z^2}{l_2} + \frac{z}{l} - \frac{z^3}{l^3} = 0,$$

woraus folgt

$$\frac{z}{l} = \frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0{,}615\,.$$

Schreibt man die Flächengleichung

$$C = \frac{4\,z^2 : l^2}{r^2 : l^2} \cdot \frac{1 - z : l}{1 + z : l},$$

so wird dies beim „Äquator“ (Meistwert von r)

$$C = \frac{l^2}{r_{\max}^2} \cdot (2 \cdot 0{,}615)^2 \cdot \frac{0{,}385}{1{,}612};$$

andererseits war gesetzt worden $C = \frac{l^2}{r_0^2}$; folglich ist

$$\frac{r_{\max}^2}{r_0^2} = (2 \cdot 0{,}615)^2 \cdot 0{,}385 : 1{,}615 = 0{,}6058^2\,,$$

$$r_0 = 1{,}658\, r_{\max}\,.$$

Um den Kopf der Fläche zu erhalten, schreibe man $l - z = \triangle z$; $z + l \approx 2\,l$;

$$C = \frac{\triangle z + \sqrt{\triangle z^2 + r^2}}{r^2} \cdot \frac{4\,l^2}{4\,l} = l\,\frac{\triangle z + \sqrt{\triangle z^2 + r^2}}{r^2},$$

$$\frac{C}{l} = \frac{\triangle z + \sqrt{\triangle z^2 + r^2}}{r^2}, \qquad \text{woraus} \qquad r^2 = \frac{2\,l}{C}\left(\triangle z + \frac{l}{2\,C}\right),$$

ein sehr stark gekrümmtes Paraboloid, im Bild von einer Spitze nicht zu unterscheiden. Der Betrag $\frac{l}{2\,C}$, um welchen sein Scheitel das Ende A von l überragt, ist ein Näherungswert für den aus Gl. 1) zu erhaltenden $z - l = l\left(\sqrt{\frac{C}{C-1}} - 1\right)$; denn für großes C ist dieser Ausdruck gleich $l\left(\sqrt{1 + \frac{1}{C}} - 1\right)$, was nach dem binomischen Satz entwickelt $l : 2\,C$ ergibt.

Digitized by Google

Legt man um den „Äquator“ den Berührzylinder, so wird dieser vom Berührkegel der Spitze in einer Höhe y geschnitten, für welche

$$y : l/2 = r_{max} : r_0 = 0{,}606,$$

$$y = 0{,}303\,l \quad \text{ist.}$$

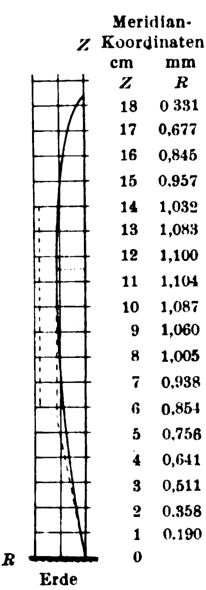


Fig. 1. Affine Darstellung des Meridians einer Antennennadel von 2 cm Kap. auf Erde. Daneben die Breite eines Ellipsoids (1,84 mm) von freier gleicher Kapazität. Konfokal zur Nadelachse, ebenfalls $R:Z = 1:10$.

Die Fläche gleicht einer zweispitzigen Nadel; da ihre Kapazität auf Erde stehend angegeben wird, nenne ich sie Antennennadel. Die schärfere Spitze muß feiner sein als bei Nähnadeln; bei diesen ist die letztgenannte Bedingung $\lim z : r = 0{,}3\,l : r_{max}$ nicht erfüllt; sie haben z. B.

l	5,586	3,245
$l : r_{max}$	145	92
lim $z : r$ für kleine z	13	7

Die Beilage gibt genaue Koordinaten und affine Darstellung des Meridians einer Antennennadel von 18,4 cm Länge und 2 cm Kapazität auf Erde. Da die Kapazität eine lineare Größe ist, erhält man die Kapazitäten vergrößerter oder verkleinerter Ausführungen aus dem linearen Maßstab der Vergrößerung oder Verkleinerung mal den 2 cm.

5. Beispiel einer Kapazitätsmessung mit der Antennennadel.

Herr Prof. Paschen hatte die Güte, eine Nadel nach den Angaben der Beilage durch den Mechaniker des Physikalischen Instituts der Universität Tübingen anfertigen zu lassen. Sie entspricht den berechneten Maßen bis auf $^1/_{100}$ mm. Sie wurde benutzt, um die Kapazität eines Braunschen Elektrometers zu messen Das Instrument ist nicht ganz günstig für den Zweck; es zeigte sich nämlich, daß in dem intensiven Feld zwischen Nadelfuß und geerdeter Ebene Ladungsverluste bis unter 1000 Volt, bisweilen schon bei 800 Volt eintraten, so daß die Skala des bis 1500 reichenden Instruments nur etwa halb ausgenutzt werden konnte.

Die Nadel wurde getragen von einem durchbohrten, in konvergent gemachtem Sonnenlicht paraffinierten Glimmerblättchen, welches ebenso mit Siegellack an einen mit Dampf gereinigten 93 cm langen Glasarm geklebt war. Als leitende Ebene diente ein Stanniolbelag auf einem Zeichenrahmen mit einem Loch in der Mitte. Das Elektrometer war an Stelle der Klemmschraube im Knopf mit einem senkrechten Eisendraht von $3^1/_2$ cm Länge versehen, welcher von einem gläsernen Haarröhrchen umgeben war, auf dem Draht lag im Röhrchen ein Tröpfchen Quecksilber. Aus dem Zurückgehen des Elektrometerausschlags beim Heranbringen des Zeichenrahmens ergab sich eine Kapazitätszunahme von $2\,^0/_0$ durch die geerdete Ebene, welche in Höhe des Quecksilbertropfens wagerecht auf passenden Unterlagen ruhte. Die Nadel wurde in enkrechter Haltung über den Tropfen gebracht, durch ein Laufgewicht, das nahe dem mit Korkmanschette festgeklemmten Glasarmende auf diesem verschoben wurde bis fast zur Berührung mit dem Quecksilber herabgedrückt und ein Fernrohr auf diese Stelle eingerichtet. Durch einen leichten Druck auf das Laufgewicht konnte unter Beobachtung mit dem Fernrohr die Berührung ohne Beschädigung der Nadel bewerkstelligt werden; beim Aufhören des Drucks hob sich die Nadel wieder. Es zeigte sich, daß die Berührung nicht zu kurz dauern darf; sonst werden, offenbar

Digitized by Google

wegen elektrischer Schwingungen, unregelmäßige Teilungsergebnisse erhalten. Auch muß darauf geachtet werden, daß nicht nur das halbleitende Glasröhrchen berührt wird. Positive Ladung ergab tiefer herab Verluste als negative.

Wegen der Kleinheit der Nadelkapazität wurde die Ladung wiederholt geteilt, wobei im Vorzeichen abgewechselt wurde, zwecks Ausschaltung der Influenz etwaiger Ladungsspuren auf den Isolatoren.

Der Isolierwiderstand des Elektrometers allein war $3 \cdot 10^{15}\,\Omega$; mit der Nadel verbunden $10^{15}\,\Omega$.

Zur bequemen Berechnung der wiederholten Ladungsteilung (Anfangspotential V_0; Endpotential nach n Teilungen V_n; Vergleichskapazität c; gesuchte Kapazität $x = c : (\sqrt[n]{V_0 : V_n} - 1)$), mit dem Rechenschieber bediene ich mich eines Proportionalzirkels von 24 cm Länge (von Zirkelschmied Strobel, Stuttgart), dessen Schenkelverhältnis gleich dem Wurzelexponenten gemacht wird. Greift man mit der weiten Öffnung den Radikanden auf dem Rechenschieber, so spannt die enge die Wurzel Man sieht den Überschuß dieser Zahl über 1 nach und vollendet die Rechnung c: Überschuß mit dem Schieber. Das Verfahren ist anwendbar bis $n = 10$.

Zur Umrechnung der durch die geerdete Ebene um 2% vermehrten x-Werte auf Abwesenheit der Ebene wurde c statt mit 2 cm mit 1,96 cm in Rechnung gesetzt.

Vorzeichen	n	V_0	V_n	x cm	Bemerkungen
—	6	1190	335	8,14	
+	6	945	216	8,49	Bei den ersten der 8 Teilungen ab 1218 Volt Ladungsverluste
—	8	1310	230	8,18	
+	4	545	230	8,20	„ „ „ „ 8 „ „ 1250 „ „
—	6	1039	288	8,35	
		Mittelwert		8,27	

6. Entwurf eines Kondensators ohne Zuleitungsfehler.

Soll die Antennennadel mit hochempfindlichen Elektrometern verglichen werden so müssen Luftionen durch eine geschlossene geerdete Hülle von ihr abgehalten werden. Damit hierbei ihre Kapazität berechenbar bleibt, muß diese Hülle eine Potentialstandfläche desselben Verteilungszustandes darstellen, dem die Nadeloberfläche angehört.

Ist die Ladung L, das Potential auf der Nadel V_i, auf einer entfernteren Standfläche V_a, so wird, wenn diese als leitende Fläche verwirklicht und geerdet wird, die Kapazität des entstandenen Kondensators $K = \frac{L}{V_i - V_a}$. Ist K_i die Kapazität der Nadel (auf Erde), K_a diejenige der Hülle (ebenfalls auf Erde), so ist $V_i = L : K_i$ $V_a = L : K_a$; daher

$$K = \frac{K_i K_a}{K_a - K_i} \quad \text{oder} \quad K_a = K_i\left(1 + \frac{K_i}{K - K_i}\right).$$

Die Berechnung einer solchen Hülle würde im allgemeinen sehr mühselig werden, weil die für die Nadel die Rechnung erleichternde Kleinheit von r wegfällt. Sie wird wieder leichter, wenn man sich auf weit ausladende Hüllen (großes K_a) beschränkt. Da eine solche K_i nur wenig vermehrt, braucht ihre Gestalt auch nicht mit derselben Genauigkeit verwirklicht zu werden, wie diejenige der Nadel. Um eine kurze Bezeichnung zu haben, werde ich eine solche Hülle eine Tulpe nennen.

Digitized by Google

Soll durch die Hülle die Nadelkapazität um 2% steigen, so ist bei 2 cm Nadelkapazität die Tulpenkapazität $K_a = 2(1+50) = 102$ cm. Die Konstante C ihrer Meridiangleichung ist dann $e^{18,4:102} = 1{,}200$; die Höhe der Tulpe wird nach Gl. 5) $18{,}3 \cdot 2{,}45 = 45{,}2$ cm.

Um den Scheitel zu erhalten, schreibt man für kleines r

$$C = \frac{(l - z + \sqrt{(l-z)^2 + r^2})\,2z^2}{(l+z)\,r^2}$$

und macht rational, woraus

$$r^2 = \frac{4z^2(z^2 - (z^2 - l^2)\,C)}{C^2(2+l)^2}$$

erhalten wird. Dies transformiert man auf den Scheitel als Ursprung durch die Gleichung $z = lq + \triangle z$; $q^2 = \frac{C}{C-1}$, wobei unter Vernachlässigung höherer Potenzen von $\triangle z$ erhalten wird

$$r^2 = -2p\triangle z; \qquad p = \frac{4lq}{C(q+1)^2}.$$

Für die Tulpe von 102 cm Kapazität auf Erde wird $p = 12{,}6$ cm.

Für die Äquatorgegend setze man $r^2 + z^2 = d^2$ und entwickle die Wurzeln der Flächengleichung nach Potenzen von $\frac{l}{d}$ bis zum dritten Glied; man erhält

$$C = \frac{\left(l - z + d + \frac{l^2 - 2lz}{2d} - \frac{(l^2 - 2lz)^2}{8d^3}\right)(z+d)^2}{r^2\left(l + z + d + \frac{l^2 + 2lz}{2d} - \frac{(l^2 + 2lz)^2}{8d^3}\right)}$$

$$= \frac{1 + \frac{l}{d} + \frac{l^2}{2d^3}(z+d)}{1 + \frac{l}{d} + \frac{l^2}{2d^3}\,\frac{d^2 - z^2}{z+d}} \qquad \text{oder} \qquad C - 1 = \frac{l^2 z}{d^3}.$$

Für die Tulpe von 102 cm wird die Gleichung $z = d^3 : 1693$.

Der Fuß der Tulpe wird erhalten, indem 2 klein gegen r und dieses klein gegen l vorausgesetzt wird; dann ist

$$C = \frac{r - z}{r + z} \cdot \frac{(r+l)^2 + r^2 - (2r + 2l)z}{(r+l)^2 + r^2 + (2r + 2l)z}$$

und daraus unter den genannten Voraussetzungen

$$r = \frac{Czl^2 + zl^2}{Cl^2 - l^2} = z\,\frac{C+1}{C-1}.$$

Für die Tulpe von 102 cm wird $z : r = 1 : 11$.

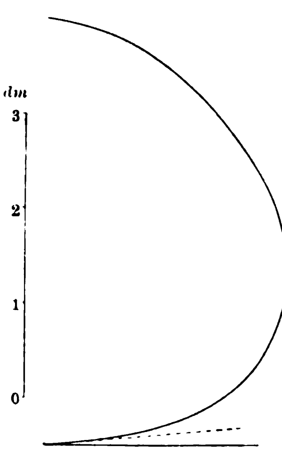


Fig. 2.
Tulpenkondensator v. 2,04 cm Kap.

In Fig. 2 ist die Tulpe graphisch durch Umschlingung der beiden parabolischen Näherungskurven und Einmündung in den Trichterfuß gezeichnet. Die punktierte Linie bezeichnet die Erstreckung der Ladung (Antennennadel).

Der durch die notwendige Lücke im Trichterfuß zwischen Tulpe und Nadel entstehende Kapazitätsfehler wird als obere Grenze den Betrag haben, welcher entstände, wenn die Ladungsstrecke, welche von der vom Lochrand ausgehenden Kraftlinie abgegrenzt wird, ungeladen bliebe; also die

Digitized by Google

Größenordnung des Lochhalbmessers im Verhältnis zur Nadellänge; er wird somit auf etwa 5 ‰ herabgedrückt werden können. Nimmt man diese Abschätzung selbst als auf 20 % richtig hinzu, so sollte die Kapazität des Kondensators auf 1 ‰ ihres Wertes bestimmbar sein.

Es steht theoretisch nichts im Wege, diesen Fehler dadurch noch zu verringern, daß man von Potentialstandflächen einer Ladung ausgeht, welche am Fuß geringere Dichte hat als weiter oben. Für linear veränderliche Dichte hat Th. Kötteritzsch[1]) die Gleichung solcher Standflächen als Beispiel für seine allgemeine Methode der Lösung derartiger Aufgaben mitgeteilt. Es dürfte aber fraglich sein, ob man die dabei notwendig noch viel schlanker als in der Beilage 1 ausfallende untere Nadelspitze dann noch herstellen und handhaben kann.

7. Die Trompetenfläche.

Für Aufnahme berechenbarer Ladungen höherer Spannung, bei welcher die Antennennadel versagt, geeignet ist die Standfläche des Potentials einer gleichmäßig geladenen Kreisscheibe („Teller") mit einem gleichförmig geladenen Mittellot. Beschränkt man sich wieder auf Standflächen, welche sich dem Lot nahe anschließen, so braucht für die Kreisscheibe nur das Achsenpotential angeschrieben zu werden; es beträgt bei der Flächendichte σ der Tellerladung vom Halbmesser a in der Höhe z

$$V_T = 2\pi\sigma\left(\sqrt{z^2 + a^2} - z\right),$$

das des Lotes bei der Längendichte ϱ, Länge l, Aufpunktskoordinaten r, z

$$V_L = \varrho \log \text{nat} \frac{l - z + \sqrt{(l-z)^2 + r^2}}{-z + \sqrt{z^2 + r^2}}.$$

Für den Anschluß der Fläche an den Teller bedarf man noch des Tellerpotentials in einem Punkt des Tellerrandes. Es beträgt

$$V_{TR} = 2\sigma \int_0^{2a} \int_0^{\arccos r/2a} \frac{r\,d\varphi\,dr}{r} = 2\sigma \int_0^{2a} \arccos \frac{r}{2a} = 4a\sigma \left(\frac{r}{2a} \arccos \frac{r}{2a} - \sqrt{1 - \frac{r^2}{4a^2}}\right)_0^{2a} = 4a\sigma.$$

Der Wert des Potentials auf der zu berechnenden Fläche ist $V_{TR} + V_{L(r=a)}$. Setzt sich das Lot beiderseits weit über den Teller hinaus fort, so kann man genähert setzen

$$V_{(z=0)} = 4a\sigma + 2\varrho \log \text{nat} \frac{l}{a}.$$

Andererseits wird für endliches z, außer in der Nähe des Tellers, angenähert

$$V_z = 2\pi\sigma\left(\sqrt{z^2 + a^2} - z\right) + 2\varrho \log \text{nat} \frac{l}{r}.$$

Sollen diese beiden Gleichungen demselben Potential entsprechen, so muß sein

$$\sigma\left(a - \pi\left(\sqrt{z^2 + a^2} - z\right)\right) = \varrho \log \text{nat} \frac{a}{r}.$$

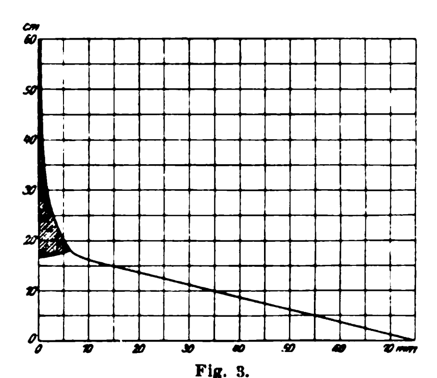


Fig. 3.
Affine Darstellung des Meridians einer „Trompetenfläche" von berechenbarer Kapazität. Kapazität des schraffierten Stückes in Ladestellung 1,5.

Koordinaten $\frac{Z}{R}$ in cm

0	15	16	18	20	30	40	50	60
7,5	1,462	1,035	0,639	0,516	0,164	0,092	0,064	0,045

[1]) Über die Verteilung der Elektrizität auf Konduktoren, *Zschr. f. Math. u. Physik*, **14**. *S. 301. 1869/70.*

Digitized by Google

Ist l so groß, daß a^2 gegen l^2 vernachlässigt werden kann, und $\mathfrak{r}$ der für großes, aber unter l liegendes z gültige Wert von r, so ist

$$\frac{\sigma}{\varrho} = \frac{\log \text{nat}\, a/\mathfrak{r}}{a} \quad \text{oder} \quad \frac{\sigma}{2{,}3\,\varrho} = \frac{\log \text{brigg}\, a/\mathfrak{r}}{a}.$$

Für $a = 7{,}5$ cm wird bei $\mathfrak{r} = 0{,}015$ cm $\sigma/2{,}3\,\varrho = 0{,}36$.

Die Figur 3 bezieht sich auf diese Zahlen. Das ihr zugeordnete Potential ergibt sich aus der Zeile $V_{z=0}$ zu $2{,}3\,\varrho\,(4a \cdot 0{,}36 + 2 \log \text{brigg}\, l/a)$.

Wird ein von dieser Fläche begrenzter Körper auf den Teller aufmodelliert und durch eine Kraftröhrenwand geteilt, welche das Lot oberhalb des Tellers trifft, so ist die Ladung gleich ϱ mal der abgetrennten Achsenlänge, also die Kapazität bekannt; für die schraffierte Länge von 43,5 cm wird sie 1,5 cm.

Über die Störung der Chronometerunruh durch die Spiralenmasse.

Von

H. Bock in Hamburg.

Die Dauer der freien Unruhschwingung beträgt bekanntlich:

$$T_0 = \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D}}\ \text{sek}, \tag{1}$$

worin J das dynamische Trägheitsmoment des Schwungrädchens und D der Wert des der Bewegung widerstrebenden Drehmomentes M der Spirale ist, wie es bei einem Ausschlage gleich einer Bogeneinheit auftritt. Dabei wird in 1) Proportionalität zwischen M und φ vorausgesetzt:

$$M = D \cdot \varphi \ \text{gcm}. \tag{2}$$

[Unter Gramm (g) soll in diesem Artikel stets die Krafteinheit und nicht die der Masse verstanden werden.]

Ist die Forderung 2) erfüllt, so ist die Unruh isochronisch, d. h. enge und weite Schwingungen dauern gleich lange; andernfalls müßte ja die Maximalauslenkung $\overline{\varphi}$ in Gleichung 1) mit eingehen.

Im Gesetze 1) ist stillschweigend Reibungslosigkeit angenommen. Wäre dieser Bedingung nicht Genüge geleistet oder bestünde gar eine kleine Abweichung vom linearen Kraftgesetz, etwa in der Form:

$$M = D \cdot \varphi + \varepsilon \cdot \varphi^3 \ \text{gcm}, \tag{2'}$$

dann gestalteten sich die Verhältnisse so, wie ich es in *dieser Zeitschr.* **42.** *S. 317 1922*, auseinandergesetzt habe.

Allen diesen Überlegungen liegt aber noch eine andere Prämisse unausgesprochen zugrunde: Man behandelt die Masse der Spirale als gegenüber der des Schwungrädchens vernachlässigbar.

Wir wollen nun zeigen, welche Gestalt die Gleichung 1) annimmt, wenn wir auf die Spiralenmasse Rücksicht nehmen, und zwar der Einfachheit wegen wieder unter Beiseitelassung der Dämpfung durch die Reibung.

Es wird sich zeigen, daß einmal eine geringe Vergrößerung der Schwingungsdauer gegenüber dem von 1) angegebenen Werte T_0 eintritt, was ja leicht verständ-

Digitized by Google

lich ist, und daß weiter sogar eine Störung des Isochronismus Platz greift, selbst wenn dem geradlinigen Kraftgesetz Genüge geleistet ist.

1. Konstruktionsdaten. Damit die Untersuchung an Anschaulichkeit gewinnt und die Berechtigung der riskierten Vernachlässigungen klarer hervortritt, legen wir ein Ausführungsbeispiel zugrunde und wählen eine zylindrische Spirale von $r = 1{,}3$ cm Ruhedurchmesser mit 14 Windungen, mit einer Klingenbreite von 0,11 und einer Klingenstärke von 0,02 cm. Ihr Elastizitätsmodul werde auf $E = 2{,}2 \cdot 10^9$ g/cm² veranschlagt. Dann beträgt die Spiralenlänge $l = 1{,}3 \cdot \pi \cdot 14 = 57{,}18$ cm, ein Wert, den wir der beiden Endkurven wegen (vgl. Fig. 1) auf 60 cm aufrunden. Das äquatoriale Flächenträgheitsmoment der Klinge ist demgemäß $\Theta = \frac{0{,}11 \cdot 0{,}02^3}{12} = 7{,}33 \cdot 10^{-8}\,\text{cm}^4$. Weil es sich um einen relativ dünnen Stab handelt, dessen Krümmungsradius außerdem gegenüber der Dicke erheblich ist, so können wir unbedenklich die elementare Theorie der Biegung gerader rechteckiger Stäbe zugrunde legen und schreiben:

Fig. 1.

$$\varphi = \frac{l \cdot M}{E \cdot \Theta} = 0{,}3719 \cdot M \quad BE. \tag{3}$$

Darin ist φ die zwischen den Tangenten an die beiden Spiralenenden infolge des Momentes M eintretende Winkeländerung, und zwar unabhängig von der Größe, die der Winkel vor der Deformation besessen hat. Somit ist gemäß Gleichung 2):

$$D = \frac{M}{\varphi} = \frac{E \cdot \Theta}{l} = 2{,}689 \text{ gcm}/BE.$$

Soll die Schwingungsdauer 0,25 sek betragen, so wird nun nach 1):

$$J = \frac{D}{16 \cdot \pi^2} = 0{,}01728 \text{ g} \cdot \text{cm} \cdot \text{sek}^2.$$

Schließlich ergibt sich die Spiralenmasse zu:

$$m = \frac{60 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}02 \cdot 7{,}9}{981} = 0{,}001063 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{sek}^2,$$

woraus der später zu verwendende Wert folgt:

$$\frac{m \cdot r^3}{J} = 0{,}0260.$$

2. Die Deformation der Spirale. Wir greifen in Gedanken ein unverbogenes Spiralenstück von der Länge s heraus (Fig. 2, a). Unter dem Einflusse des Biegungsmomentes nimmt es die in Fig. 2, b wiedergegebene Gestalt an. Dabei beträgt die Winkelverkleinerung zwischen den Endtangenten gemäß Gleichung 3):

$$\alpha - \beta = \frac{M \cdot s}{E \cdot \Theta} \quad BE. \tag{4}$$

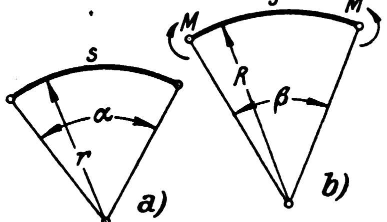


Fig. 2.

Weil aber s unverändert geblieben ist, so kommt:

$$r \cdot \alpha = R \cdot \beta = s \text{ cm}. \tag{5}$$

Digitized by Google

Durch Elimination der Winkel folgt aus 4) und 5) der durch die Deformation vergrößerte Radius:

$$R = \frac{r}{1 - \frac{r}{E \cdot \Theta} \cdot M} \text{ cm},$$

oder mit Rücksicht auf 3):

$$R = \frac{r}{1 - \frac{r}{l} \cdot \varphi} = \frac{0{,}65}{1 - 0{,}01083 \cdot \varphi} \text{ cm}. \qquad 6)$$

Darin ist φ der Verdrehungswinkel der Klingenenden gegeneinander, mit andern Worten der Auslenkungswinkel der Unruh selbst, und zwar ist φ in derjenigen Richtung als positiv gerechnet, in welcher gedreht die Unruh ein Auseinanderrollen der Spirale, d. h. ein Wachsen ihres Radius verursacht.

Der weiteren Überlegung ist eine derartige Form der Endkurven zugrunde zu legen, daß die Spirale auch nach der Deformation zu der Drehachse der Unruh konzentrisch liegt. Die hierfür notwendigen und hinreichenden Bedingungen sind in genäherter Form leicht hinzuschreiben (siehe Fig. 1): Sei $\overline{ab}$ die in a fest eingespannte Endkurve in der Ruhelage. Kommt nun ein gegen den Zeigersinn gerichtetes Moment auf das freie andere Spiralenende, so nimmt die Endkurve die neue, sich von der alten (wegen der im Verhältnis zur gesamten Klingenlänge l nur kleinen Kurvenlänge λ) bloß unerheblich unterscheidende Gestalt $\overline{ac}$ an. In der Skizze ist die Deformation stark übertrieben.

Die Lage von Punkt c wird durch die Gleichungen charakterisiert:

$$m = \frac{\varphi}{l} \cdot \int_0^\lambda (r - x) \cdot d\lambda \quad \text{und} \quad n = \frac{\varphi}{l} \int_0^\lambda y \cdot d\lambda,$$

worin die von den einzelnen Klingenelementen $d\lambda$ herrührenden Verschiebungsanteile von c summiert sind. Das gibt, wofern unter ξ und η die Schwerpunktskoordinaten der (unverbogenen) Endkurve verstanden werden:

$$m = \frac{\varphi}{l} \cdot (r - \xi) \cdot \lambda \quad \text{und} \quad n = \frac{\varphi}{l} \cdot \eta \cdot \lambda \text{ cm}. \qquad 7)$$

Soll nun die Spirale auch nach der Verbiegung konzentrisch liegen, so muß erstens n sehr genähert gleich dem Wachstum des Ruheradius r sein, und ferner muß die Tangente an die aufgebogene Endkurve im Punkte c mit der an den neuen vergrößerten Kreis vom Radius R zusammenfallen. Ersteres ist tatsächlich der Fall, wenn $n = R - r$, oder mit Rücksicht auf 6) und 7):

$$\eta \cdot \lambda = \frac{r^2}{1 - \frac{r}{l} \cdot \varphi} \text{ cm}^2, \qquad 8)$$

wobei auf den geringen Unterschied zwischen l und $l - \lambda$ keine Rücksicht genommen ist. Letzteres erfordert, daß der Winkel am Kreise $\alpha = \frac{m}{R}$ gleich dem Werte $\frac{\lambda}{l} \cdot \varphi$ ist, denn dieser Anteil des gesamten Verbiegungswinkels entfällt auf die Endkurve; das ergibt aber:

$$\xi = -\frac{r^2 \cdot \varphi}{l \cdot \left(1 - \frac{r}{l} \cdot \varphi\right)} \text{ cm}. \qquad 9)$$

Digitized by Google

Die Beziehungen 8) und 9) sind nichts weiter als die jedem Chronometermacher bekannten **Phillipsschen Gesetze**, die unter Rücksichtnahme auf die Größenordnung ihrer Faktoren gewöhnlich einfach so approximiert werden:

$$\eta \cdot \lambda = r^2 \quad \text{und} \quad \xi = 0, \tag{10}$$

wobei also die Variable φ herausfällt.

Sie gelten als die Bedingungen des Isochronismus für die vom Werk befreite, reibungslose Unruh, eine Annahme, die sich weiter unten wegen der Spiralenmasse als irrig erweisen wird. —

Die Betrachtungen des letzten Absatzes sind somit nichts weiter als eine einfache Ableitung jener Gesetze.

Anmerkung. Bei einer Abweichung der Endkurvenform von der Phillipsschen Gestalt werden die Verhältnisse dermaßen verwickelt, daß ein Eingehen auf sie als nicht ratsam bezeichnet werden muß.

3. Die kinetische Energie der Unruh. Bei der Aufbiegung wächst nach Nr. 2 der Spiralenradius, und jedes ihrer Teilchen entfernt sich von der Mitte nach Gleichung 6) mit der Geschwindigkeit:

$$\dot{R} = \frac{r^2 \cdot \dot{\varphi}}{l \cdot \left(1 - \frac{r}{l} \cdot \varphi\right)^2} \text{ cm/sek}. \tag{11}$$

Außerdem aber werden alle Teilchen je nach ihrer Lage mit der Unruh mehr oder weniger mitgedreht, machen also auch eine Tangentialbewegung. Die dem festen Spiralenende benachbarten Teilchen werden hierdurch am wenigsten betroffen, die in der Nähe des beweglichen gelegenen aber am meisten. Die örtliche Verteilung dieser Tangentialverschiebung über die gesamte Klingenlänge verläuft aus Symmetriegründen nach einem linearen Gesetz, und wenn man daher unter x die Entfernung des fraglichen Teilchens vom festen Ende, längs der Klinge gemessen, versteht, so gilt für die Gesamtgeschwindigkeit irgendeines Teilchens:

$$v^2 = \dot{R}^2 + \left(\frac{x}{l} \cdot R \cdot \dot{\varphi}\right)^2 \text{ cm}^2/\text{sek}^2. \tag{12}$$

Die instantane kinetische Energie der ganzen Spirale von der Masse m beläuft sich somit auf

$$\left.\begin{aligned} L_1 &= \frac{m}{2l} \cdot \int_0^l \left[\dot{R}^2 + \left(\frac{x}{l} \cdot R \cdot \dot{\varphi}\right)^2\right] \cdot dx \\ &= \frac{m}{2}\left[\dot{R}^2 + \frac{1}{3} R^2 \cdot \dot{\varphi}^2\right] \text{ gcm}. \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

Die gesamte Bewegungsenergie des rotierendem Systems einschließlich derjenigen des Schwungrädchens $L_2 = \frac{J}{2} \cdot \dot{\varphi}^2$ ist folglich, wenn man die Werte aus der Gleichung 6) einführt:

$$L = L_2 + L_1 = \frac{J}{2} \cdot \left\{1 + \frac{m \cdot r^2}{J}\left[\frac{r^2}{l^2}\left(1 - \frac{r}{l} \cdot \varphi\right)^{-4} + \frac{1}{3}\left(1 - \frac{r}{l} \cdot \varphi\right)^{-2}\right]\right\} \cdot \dot{\varphi}^2 \text{ gcm}. \tag{14}$$

Entwickelt man binomisch und vernachlässigt mit Rücksicht auf die Kleinheit von $\frac{mr^2}{J} = 0{,}026$ von $\left(\frac{r}{l}\right)^3 = 1{,}27 \cdot 10^{-6}$ an, so kommt:

$$L = \left(a + b \cdot \varphi + c \cdot \varphi^2\right) \cdot \frac{J}{2} \cdot \dot{\varphi}^2 \text{ gcm}, \tag{14'}$$

Digitized by Google

worin:

$$a = 1 + \frac{m \cdot r^2}{J} \cdot \left(\frac{r^2}{l^2} + \frac{1}{3}\right) = 1{,}00867$$

$$b = \frac{m r^2}{J}\left(4\frac{r^3}{l^3} + \frac{2}{3}\frac{r}{l}\right) = 1{,}88 \cdot 10^{-4}$$

$$c = \frac{m r^2}{J}\left(10\frac{r^4}{l^4} + \frac{r^2}{l^2}\right) = 3{,}06 \cdot 10^{-6}.$$

4. Die Bewegungsgleichung. Wenn die Unruh, von der Maximalauslenkung $\bar{\varphi}$ beginnend, einen solchen Winkelweg zurückgelegt hat, daß sich der Ausschlag auf φ Bogeneinheiten verringerte, so hat die Spirale, deren elastische Proportionalitätsgrenze nicht überschritten worden war, die Arbeit geleistet: $\frac{D}{2} \cdot (\bar{\varphi}^2 - \varphi^2)$ gcm; da diese ganz in kinetische Energie übergegangen ist, so kommt als erstes Integral der dynamischen Gleichung:

$$\frac{J}{2} \cdot (a + b\varphi + c\varphi^2) \cdot \dot{\varphi}^2 = \frac{D}{2} \cdot (\bar{\varphi}^2 - \varphi^2) \text{ gcm}. \qquad 15)$$

Hierin ist das Verhalten der Spirale rein statisch behandelt, d. h. der Einfluß der Trägheitsscheinkräfte auf ihre Form ist unberücksichtigt geblieben. Das ist bei der relativen Langsamkeit der Bewegung zulässig.

Somit beträgt die seit dem Aufbruche aus der Endlage verflossene Zeit:

$$t = -\sqrt{a \cdot \frac{J}{D}} \cdot \int_{\bar{\varphi}}^{\varphi} \frac{\left(1 + \frac{b}{a} \cdot \varphi + \frac{c}{a} \cdot \varphi^2\right)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{\bar{\varphi}^2 - \varphi^2}} \cdot d\varphi \text{ sek}. \qquad 16)$$

Das negative Vorzeichen der Wurzel zeigt an, daß φ von der unteren Grenze $\bar{\varphi}$ beginnend mit fortschreitender Zeit abnimmt. Setzt man den Zähler des Integranden unter Berücksichtigung der Größenordnung der Zahlen a, b und c mit guter Approximation gleich $1 + \frac{b}{2a} \cdot \varphi + \frac{c}{2a}\varphi^2$, so liefert die Integration:

$$t = \sqrt{a \cdot \frac{J}{D}} \cdot \left[\left(1 + \frac{c}{4a} \cdot \bar{\varphi}^2\right) \text{arc sin} \frac{\varphi}{\bar{\varphi}} - \left(\frac{b}{2a} + \frac{c}{4a} \cdot \varphi\right)\sqrt{\bar{\varphi}^2 - \varphi^2}\right]_{\varphi}^{\bar{\varphi}}. \qquad 17)$$

Da die Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$ wegen des Fehlens dissipativer Kräfte gemäß 15) dann wieder Null wird, wenn $\varphi = -\bar{\varphi}$, so kommt für die gesamte Dauer einer Halbschwingung:

$$T = \pi\sqrt{\frac{J}{D}} \cdot \left(1 + \frac{c}{4a} \cdot \bar{\varphi}^2\right)\sqrt{a} \text{ sek}. \qquad 18)$$

Beachtenswert ist hierbei neben dem Fehlen des Koeffizienten b der durch den letzten Klammerterm charakterisierte Anisochronismus.

Das Glied $\sqrt{a} = 1{,}00433$ bewirkt zwar eine tägliche Verzögerung Δ_1, die sich aus der Proportion $\Delta_1 : 86\,400 = 0{,}00433 \cdot T_0 : T_0$ zu $\Delta_1 = 6$ min 14 sek ergibt, aber das ist praktisch ganz belanglos, weil Δ_1 unveränderlich ist und bei der Regulierung ein für allemal unschädlich gemacht werden kann.

Digitized by Google

Anders steht es mit der Störung des Isochronismus; es ist:

$$\frac{dT}{d\bar{\varphi}} = T_0 \cdot \frac{c}{2a} \cdot \bar{\varphi},$$

oder wenn man Zahlen einsetzt und $\bar{\varphi}$ in Bogengraden rechnet:

$$\frac{dT}{d\bar{\varphi}^0} = 4{,}638 \cdot T_0 \cdot \bar{\varphi}^0 \cdot 10^{-10} \text{ sek/grad}. \qquad 19)$$

Das gibt pro Grad Schwungweitenzunahme ein tägliches Verlieren von:

$$\Delta_2 = \frac{86\,400}{T_0} \cdot \frac{dT}{d\bar{\varphi}^0} = 4 \cdot \bar{\varphi} \cdot 10^{-5} \text{ sek.}$$

Bei 250^0 maximaler Auslenkung würde somit eine Amplitudenabnahme von etwa 10^0 ein Voreilen von $^1/_{10}$ sek pro Tag bewirken, was bei den Ansprüchen, die an moderne Chronometer gestellt werden, nicht unbeträchtlich ist.

Auf eine ähnliche Formel für den Einfluß der Spiralenmasse ist Caspari 1877 gekommen (vgl. auch Gohlke, Studien über Chronometer und nautische Instrumente, 1893). Er schreibt:

$$T = T_0 \left[1 + \frac{\delta^2}{2} + \frac{3\,\delta^2}{4\,p^2} \cdot n^2\right],$$

worin δ^2 das Verhältnis des Trägheitsmoments der Spirale zu dem der Unruh, das unter ähnlichen Voraussetzungen über die Bewegung bestimmt wird, wie sie oben gemacht worden sind. p ist die ganze Spiralenlänge im Bogenmaß und n die maximale Elongation. Andrade hat die Näherung später noch weiter getrieben.

Obige Abhandlung bedeutet somit eine weitere Bestätigung und Ergänzung der von andern Autoren angewandten Voraussetzungen und Methoden.

5. Zusammenfassung. Es wird gezeigt, daß die reibungslose freie Unruh auch dann nicht streng isochronisch ist, wenn die Endkurven die Phillipssche Gestalt haben und der Elastizitätsmodul der Spirale konstant ist. Der Grund hierfür ist in dem Vorhandensein der Spiralenmasse zu suchen. Die Größe des Anisochronismus wird durch eine einfache Formel zum Ausdruck gebracht.

Referate.

Der Kreisrechenschieber von Trentmann.

Nach dem Instrument.

Den zahlreichen ältern logarithmischen Rechenscheiben von Herrmann, Boucher, Halden, Röther, Puller, Leder, Geck u. a. (s. z. B. mein kleines Buch: Der logarithmische Rechenschieber und sein Gebrauch, 6. Aufl., Stuttgart 1923), von denen übrigens nur der *Cercle à calcul* oder *Calculigraphe* von Boucher in Frankreich und der Calculex von Halden in England größere Verbreitung gefunden haben, sind in den letzten Jahren nicht wenige „neue“ Formen des Rechenschiebers in Kreisform gefolgt, so bei uns die Rechenscheibe von Bayr, als Verbesserung der Rötherschen bezeichnet (vgl. meine genannte Schrift S. 77), in Amerika u. a. der teure „rapid computer“ mit wieder sehr vielen Skalen. Die neueste Erscheinung auf diesem Gebiet scheint das im Titel genannte kleine Instrument von Trentmann in Hamburg (Burggarten 12) zu sein, das mir in einer ältern und in einer neuern Ausführung vorliegt (D.R.P. 372432 und 374448) und Rechnern, die die Scheibenform des mechanisch-logarithmischen Rechenwerkzeugs geraden Schiebern vorziehen, gewiß willkommen ist. Das Instrumentchen von reichlicher Taschenuhrgröße, aber ganz flacher Form und sehr geringem Gewicht bietet auf der Vorderseite (überdeckt) die zwei gegeneinander verdrehbaren identischen Hauptskalen mit etwa 42 mm Durch-


Digitized by Google

messer, also (da hier die Skale in sich zurückkehrt, nicht wie beim geradlinigen Schieber zweimal nebeneinander aufgetragen sein muß) einem Rechenschieber von $2 \times \pi \times 42 =$ rund 265 mm Teilungslänge entsprechend, dazu am äußern Rand die mit jenen Skalen durch einen der zwei Indexstriche in Verbindung zu setzende Quadratskale, auf der Rückseite (ebenso) die weitern auf dem gewöhnlichen Rechenschieber vorhandenen Skalen. Über Einzelheiten des Baues und der Handhabung belehrt die vom Verfertiger dem Instrument beigelegte Notiz. Meine bisherigen Genauigkeitsversuche haben mich befriedigt. *Hammer.*

Der Esteka-Rechenschieber.

Nach dem Instrument und der gleichbetitelten Schrift von Dr. H. Blasius, Verlag von Hans Friedenberg in Hamburg 11.

Der so benannte Rechenschieber wird von H. Friedenberg, Hamburg, in zwei Formen hergestellt, aus Holz mit Zelluloidskalen und Dreistrichläufer und aus Pappe mit Glasläufer (daneben sind noch drei andre Formen des „Hafried"-logarithmischen Rechenschiebers vorhanden).

Daß aus naheliegenden Gründen z. Zt. mehrfach Versuche im Gang sind, die Preise der Rechenschieber aus dauerhaftern Stoffen wieder etwas zu senken, ist in meinem Schriftchen „Der logarithmische Rechenschieber und sein Gebrauch", 6. Aufl. Stuttgart 1923, S. 75 erwähnt; ebenso daß dabei sicher an Genauigkeit etwas verloren geht im Vergleich mit der frühern Normalform des feinen deutschen Rechenschiebers, aber sicher auch etwas gewonnen werden kann im Vergleich mit den ganz aus Karton hergestellten Rechenschiebern. Gleichwohl möchte ich die Aufmerksamkeit des Lesers besonders auf die Karton-Ausführung des „Esteka"-Schiebers lenken, ohne zu verschweigen, daß z. B. an dem mir vorliegenden Exemplar, wenn die linke 1 der *A*- und *B*- (und damit auch der *C*- und *D*-) Teilung zur Übereinstimmung gebracht sind, unter der rechten 1 von *A* an *B* steht 994 statt 1 und über der rechten 1 von *D* an *C* abgelesen wird 998 statt 1; d. h. die Zunge ist also im Vergleich mit den Stabteilungen beträchtlich zu lang geworden.

Der Name der neuen Schieber ist gewählt nach der besondern Anbringung der Sin und Tang-Skalen (beide in einer Flucht nebeneinander auf der Vorderseite der Zunge, zwischen der *B*- und der *C*-Skale) und der Kubikskale (auf dem Stab über *A*). Auch die Log.-Mantissenskale befindet sich auf der Vorderseite des Stabs, unterhalb von *D*. Die Arbeit mit dem Schieber ist bequem. Wegen alles weitern muß auf die oben genannte Schrift verwiesen werden.

Hammer.

Über eine elektrische Tonquelle kontinuierlich-veränderlicher Frequenz und reproduzierbarer Schallenergie.

Von Helmut Sell, *Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konzern.* **11.** *S. 342. 1922.*

Der Apparat ist ein von einer Glühkathodenröhre (Verstärkerröhre) gespeister Tonsender mit magnetischer Rückkoppelung, dessen Frequenzeinstellung nicht, wie bei anderen Apparaten dieser Art (vgl. z. B. E. Grüneisen und E. Merkel, *Zeitschr. f. Physik.* **1.** *S. 277. 1920*; kurzer Auszug in *diese Zeitschr.* **40.** *S. 119. 1920*) durch Änderung der Kapazität des Schwingungskreises, sondern durch kontinuierliche Änderung seiner Selbstinduktion erfolgt. Das dieserhalb in den Schwingungskreis gelegte Variometer hat zur Überbrückung eines möglichst weiten Frequenzbereiches eine besondere konstruktive Durchbildung erfahren. Zwei U-förmige Eisenkörper von relativ zu ihrer Länge großem Querschnitt, welche die Variometerspulen tragen, stehen mit ihren Enden in geringem Abstand (0,2 mm) einander gegenüber. Der eine Körper ist fest, der andere drehbar, so daß durch eine Drehung desselben um 180° die einander gegenüberstehenden Enden der Eisenkörper vertauscht werden können. In einer der beiden Endstellungen haben die Spulenfelder also gleiche Richtung, in der anderen wirken sie einander entgegen. Mit 2 Kondensatorwerten, also nur einer Umschaltung, überbrückt das Instrument den Frequenzbereich von etwa 200 bis 15000 $\sim$ sec^{-1}. Der große Querschnitt der gut unterteilten Eisenkerne gewährleistet einen geringen Sättigungsgrad des Eisens und daher bei geeigneter Gittervorspannung nahe sinusförmige Ströme, ferner geringen Streufluß und daher großen Selbstinduktionsbereich des Variometers. Aus diesem Grund ist auch ein kleiner Luftspalt günstig.

Digitized by Google



Die Gitterkoppelungsspulen liegen als besondere Wicklungen auf beiden Eisenkernen. Die Frequenz ist praktisch unabhängig von der Anodenspannung, wohl aber abhängig vom Heizstrom, der zur Reproduktion einer Frequenz daher stets sorgfältig wieder einzustellen ist. Wird die Anodenspannung direkt einem Gleichstromnetz entnommen, so dient eine vorgeschaltete Drosselkette zur Beseitigung der Netzgeräusche.

Die gesamte Apparatur ist in einen handlichen Kasten eingebaut und eignet sich für viele physikalische Messungen, bei denen ein konstanter, einwelliger Wechselstrom beliebiger Frequenz benötigt wird.

Das tonerzeugende Telephon ist in eine Schallschutzkapsel aus Blei eingebaut und mit einer Vorrichtung zum Reproduzieren der Schallenergie versehen. Die Vorrichtung besteht aus einem Satz von Federn, welche im Schallfelde des Telephons als Resonatoren wirken und deren Schwingungsamplitude mit dem Okularmikrometer eines Mikroskops gemessen wird. Die Genauigkeit der Ablesung wird durch Beobachtung stehender Schwingungen auf einem mit der Feder gekoppelten Quarzfaden noch erheblich verbessert. Die Einstellung vorgegebener Schallenergien bzw. Schwächung derselben erfolgt durch in den Schallweg eingeschaltete Hähne. Hierdurch ist die bei Herabsetzung der Energie auf elektrischem Wege eintretende Rückwirkung auf den Generator praktisch vermieden.

Eine experimentelle Untersuchung ergab, daß die von der Tonquelle abgegebene Schallenergie dem Quadrat der Amplitude des Resonators annähernd proportional ist; die Reproduzierbarkeit der Schallenergie beträgt etwa 3%, die der Frequenz ist noch wesentlich besser.

Zickner.

Bestimmung der Resonanzkurven von Membranen.

Von Helmut Sell. *Wissensch. Veröff. a. d. Siemens-Konzern* **2.** *S. 349. 1922.*

Zur Erzeugung der Meßfrequenzen wurde ein Tonsender der oben beschriebenen Art benutzt. Da jedoch die erzeugte Schallenergie nicht über einen größeren Frequenzbereich konstant ist, so wird der Ton durch einen Schlauch zunächst einem Hilfstelephon zugeführt, in dessen Schallfeld sich die zu untersuchende Membran befindet. Besteht diese aus Eisen, so wird hinter ihr ein Magnetsystem befestigt, in welchem, ebenso wie in dem Magnetsystem des Hilfstelephons durch die Schwingungen der vorgelagerten Membran Ströme induziert werden. Beide Systeme können wahlweise über einen Verstärker mit einem Galvanometer mit vorgeschaltetem Detektor verbunden werden. Die Vergleichung der beiden induzierten Stromintensitäten ergibt ein Maß für die Stärke des Mitschwingens.

Liegt die Eigenschwingung der untersuchten Membran weit außerhalb des benutzten Frequenzbereiches, so ist der Quotient der induzierten Ströme für verschiedene Frequenzen praktisch konstant; er ändert sich jedoch, sobald Eigenschwingungen der Versuchsmembran auftreten. Die Anordnung ist demnach unabhängig von der Energie der Tonquelle, muß jedoch einmal auf relative Intensitäten geeicht werden. Ist die zu untersuchende Membran aus nicht magnetischem Material, so wird sie mit einer eisernen Hilfsmembran derart gekoppelt, daß diese ausschließlich durch die Versuchsmembran Energie empfangen kann, und sodann die Resonanzkurve des Systems mit und ohne Versuchsmembran aufgenommen. Die Differenz beider Kurven ergibt die gesuchte Resonanzkurve. Dieser Fall liegt z. B. auch bei der Untersuchung von Luftsäulen (Trichtern usw.) vor.

Einige Beispiele derartiger Messungen an Membranen und Membrankombinationen werden beigefügt.

Zickner.

Ein neues Galvanometer.

Von Robert Mechau. *Physikal. Zeitschr.* **24.** *S. 242—245. 1923.*

Eine dünne Metallschleife hängt mit jedem Schenkel im Magnetfelde je eines permanenten Hufeisenmagneten. Die Magnete sind so angeordnet, daß ihre ungleichnamigen Pole sich gegenüberstehen. Wird die Schleife von einem Strom durchflossen, so erfahren daher ihre beiden Schenkel eine in der Schleifenebene liegende seitliche Ablenkung. Um diese in der Richtung senkrecht zur Schleifenebene sichtbar zu machen, ist der untere, wagerecht liegende Schleifenteil


Digitized by Google

Z-förmig geknickt. Er wird in der angegebenen Richtung mikroskopisch beobachtet. (Die Schleifenschenkel selbst sind durch die Magnetpole verdeckt. Vgl. Fig. 1.) Die Schleife ist zum Schutz gegen Beschädigung und Luftströmungen in einen flachen Glaskasten eingeschlossen. Sie kann in stehender oder hängender Stellung benutzt werden, in ersterer ist die Empfindlichkeit etwas größer. Zur Beobachtung der Ausschläge dient ein Mikroskop mit etwa 80- und 640-facher Vergrößerung. Im ersteren Falle ist Tagesbeleuchtung ausreichend; im letzteren bedarf es einer fadenförmigen Lichtquelle (Spalt). Man beobachtet dann die Interferenzstreifen. Die Empfindlichkeit wächst mit wachsender Vergrößerung. Das Okularmikrometer trägt zwei Skalen, die für hängende bzw. stehende Schleife gelten. Projektion von Schleifenzacke und Skale auf eine Mattscheibe oder auf eine Wand ist durch eine hinter dem Apparat anzubringende Projektionslampe ausführbar. (Vgl. Fig. 2.)

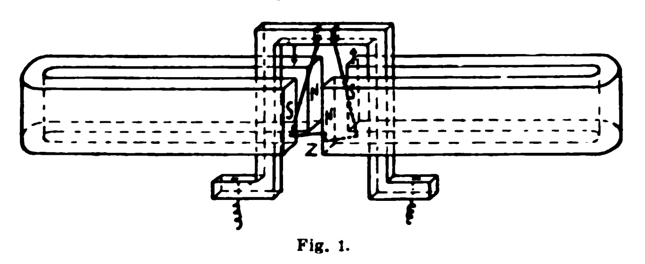
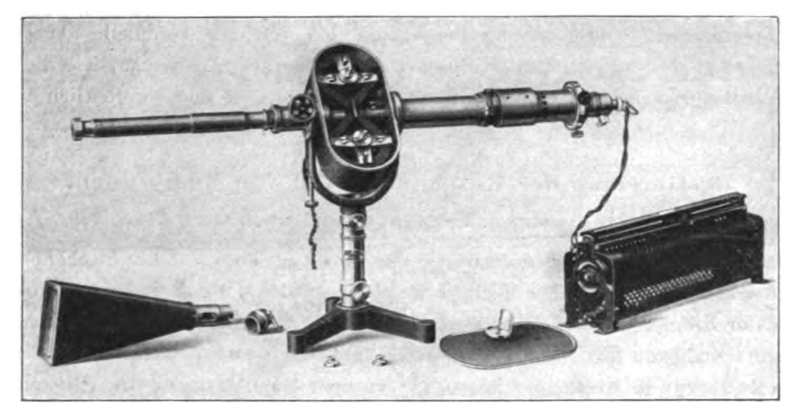


Fig. 1.


Fig. 2.

Das Instrument ist in einer auf einem Dreifuß stehenden Gabel drehbar gelagert, wodurch die beiden oben genannten Stellungen der Schleife möglich werden. Seine Vorzüge sind:

1. Große Transportsicherheit,
2. Schutz gegen Luftströmungen (Verwendbarkeit im Freien),
3. Proportionalität von Strom und Ausschlag,
4. Aperiodische Einstellung,
5. Kleiner Widerstand (6—10 Ohm) (Eignung zum Arbeiten in Verbindung mit Thermoelementen).

Die Empfindlichkeit beträgt $3 \cdot 10^{-7}$ bis $7{,}5 \cdot 10^{-9}$ Amp. (Strom pro Skalenteil Ausschlag). Einstelldauer etwa 0,6 sec. *Zickner.*

Bücherbesprechungen.

H. Löschner, Taschenbuch für praktische Geometrie. 12°. X, 147 S. mit Fig. Berlin, Vereinig. wissensch. Verleger 1922.

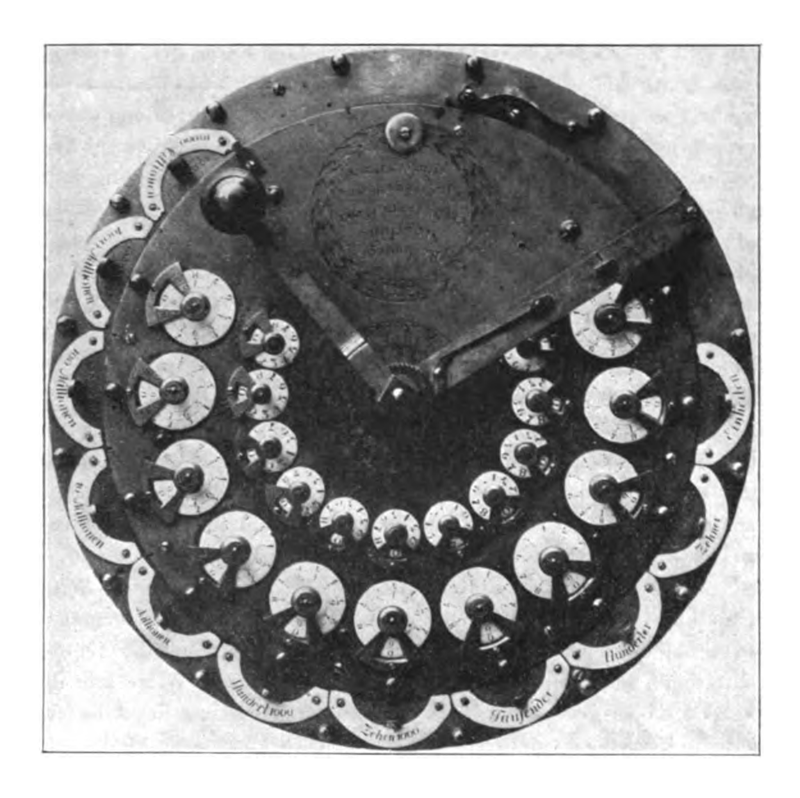
Dieses kleine, aber inhaltsreiche Taschenbuch, das besonders die geodätischen Werkzeuge, Feld- und Rechnungsmethoden des Bauingenieurs und des Geometers behandelt (ohne gelegentliche Ausblicke auf die Messungsarbeiten des Topographen, Markscheiders, Forschungsreisenden außer acht zu lassen), möchte ich auch hier der Beachtung empfehlen; um so lieber, als es eigene Erfahrungen des Verf. in größerer Zahl mitteilt, so z. B. in Beziehung auf Behandlung und Trans-

Digitized by Google

port der Instrumente (§ 55, § 78 usf.). Wesentlich hätte mir für ein solches Taschenbuch nur geschienen, daß auch die Berichtigung der Instrumente, wenn auch kurz und auf die Haupttypen beschränkt, aufgenommen worden wäre, was aber der Verf. der Rücksicht auf den Raum geopfert hat. *Hammer.*

Max Engelmann, Leben und Wirken des württembergischen Pfarrers und Feinmechanikers Philipp Mathäus Hahn. Gr. 8⁰. 273 S. mit 70 Abb. Rich. Carl Schmidt & Co., Berlin 1923.

Der Verfasser gibt in dem vorliegenden Werke eine höchst interessante Schilderung, wie ein Mann, dessen eigentlicher, meist ein Leben schon voll ausfüllender Wirkungskreis auf einem ganz anderen Gebiete lag, doch gewissermaßen aus seinem innersten Wesen heraus dazu getrieben wurde, seinen technischen Fähigkeiten und Gedankengängen Gestalt zu verleihen. Der erste Teil des Buches beschäftigt sich mit dem Lebensgange Hahns in rein menschlicher Beziehung, seine Tätigkeit als Theologe in verschiedenen amtlichen Stellungen und auch nicht immer glatt verlaufenden Meinungsverschiedenheiten mit einem hohen Konsistorium werden geschildert, und es ist



eine Freude zu sehen, wie der etwas mystisch veranlagte Charakter Hahns sich mit seiner freieren Ansicht über das Naturgeschehen jeweils abzufinden vermag und schließlich doch auch neben seiner Arbeit in der Werkstätte als Pfarrer zur Geltung kommt. Über diesen Abschnitt würde hier nicht des weiteren zu handeln sein, wenn nicht die Beziehungen, die Hahn durch seine amtliche Tätigkeit hatte doch einen sehr erheblichen Einfluß auf seine mechanische Betätigung gehabt hätten. Unter diesem fördernden Verkehr mit der Umwelt hebt sich besonders derjenige zu dem württembergischen Fürstenhause hervor. Franziska von Hohenheim und der Gründer der Karlsschule, Herzog Karl Eugen waren ihm sehr gewogen und haben mehrfach Aufträge erteilt, die die oft mißlichen Geldverhältnisse Hahns und damit die Möglichkeit der Ausführung seiner Ideen behoben und förderten. —

Ohne ihre Hilfe hätten wohl viele seiner Arbeiten nicht ausgeführt werden können. Diese Wechselbeziehungen hat der Verfasser in sehr anziehender Weise darzulegen verstanden. Was nun den technischen — zweiten — Teil des Werkes anlangt, so nimmt da die Beschreibung von Hahns


Digitized by Google

Rechenmaschine, wenn sie auch erst als Schlußglied unter seinen Arbeiten erscheint, heute unser vornehmliches Interesse in Anspruch. Ist doch jetzt keine Rechenstube, welcher Art sie auch immer sein mag, ohne einen solchen Apparat denkbar! Der Pfarrer Hahn in Echterdingen war tatsächlich nach Pascal und Leibniz der erste, der eine wirkliche Rechenmaschine erdachte und auch ausführte. Die Pascalsche Maschine konnte auch gebraucht werden, die von Leibniz nach langjährigen Bemühungen und einem für damalige Zeiten ungeheuren Geldaufwande konstruierte ist aber nie arbeitsfähig gewesen, wie H. Burkhardt (Glashütte) nachgewiesen hat. Außer einigen weniger wichtigen Vorschlägen, die der Verfasser anführt, kann dann nur die von Leupold in seinem „*Teatrum arithmetico-geometricum*" beschriebene Maschine noch als Vorgängerin angeführt werden[1]). Die verschiedenen Stadien, die Hahn bis zur endlichen Fertigstellung seiner elfstelligen Rechenmaschine, die eine dosenförmige Anordnung besaß, zu durchlaufen hatte, werden anschaulich geschildert und z. T. durch Abbildungen erläutert, auch seiner und seiner Mitarbeiter Anteil an dem Erreichten und deren Art zu arbeiten, wird ganz ausführlich gedacht. Hahn und seine verschiedenen Mitarbeiter bauten eine ganze Anzahl Maschinen, darunter schließlich elf- und zwölfstellige (Fig.) von denen die Letztere noch im Besitz der herzoglichen Familie von Urach, Stuttgart, erhalten ist. Es würde hier viel zu weit führen, auf alle in dem Werke enthaltenen lehrreichen Einzelheiten näher einzugehen und das Selbststudium der Engelmannschen Schilderungen könnte dadurch nur beeinträchtigt werden. Aber auf die der Beschreibung der Rechenmaschine gewidmeten, vorangehenden und dem ihr folgenden Kapitel muß noch hingewiesen werden. Sie schildern die übrigen technischen Arbeiten Hahns, die sich auf die Erstellung der verschiedensten Arten von Uhren — wovon seine technische Fähigkeit den Ausgang genommen hat —, und dem Bau einer Anzahl von sog. astronomischen Maschinen, durch die man damals schon versuchte, den Lauf der Planeten um die Sonne und den der Monde um ihre Zentralkörper zu veranschaulichen. Hahn hat viele Zeit und Nachdenken auf diese Maschinen verwendet; die Konstruktion einiger derselben ist durch Figuren, die nach den z. T. heute noch, namentlich in dem Stuttgarter Museum für vaterländische Altertümer erhaltenen Apparaten oder Teilen derselben angefertigten Photographien ausgeführt sind, auf das glücklichste erläutert.

Das Schlußkapitel weist dann treffend nach, von wie großer Bedeutung Hahns Tätigkeit für die heute in so hohem Maße entwickelte Uhren- und Wagenbauindustrie seines Heimatlandes geworden ist. Hahn ist geradezu als der Vater dieser ganze Bevölkerungsgruppen beschäftigenden Fabrikationszweige anzusehen, und man hat ihm dessen eingedenk im Jahre 1897 zu Onstmettingen, einem seiner Pfarrdörfer, ein einfaches würdiges Denkmal errichtet. —

Den Schluß des Werkes bildet ein archivalischer Abschnitt von fast 60 Seiten Umfang, der mit größter Sorgfalt alle bezügl. biographischen Daten, außerdem aber ein überaus reiches Material über die Leistungen auf technischem Gebiete Ende des 18. und Anfang des 19. Jahrhunderts beibringt und für alle dahin interessierten Leser von ganz besonderem Werte sein dürfte.

Im ganzen ist Max Engelmanns Werk eine Zusammenfassung der Arbeitswerte auf einem abgerundeten und an sich eng begrenzten Gebiete, welches aber auch in die ganzen damaligen Verhältnisse und geistigen Bestrebungen weithin ausstrahlt. Es darf aber hier auch nicht unterlassen werden, der vorzüglichen graphischen und äußeren Ausstattung, die der Verlag dem Buche gegeben hat, zu gedenken, die unter den gegenwärtigen Verhältnissen im Buchhandel die größte Anerkennung verdient.

L. Ambronn.

[1]) Eine sehr lesenswerte Studie über Hahn und seine Rechenmaschine ist in den auch sonst vieles Wissenswerte bringenden Monatsheften der heute wohl die meisten und besten Rechenmaschinen bauenden Firma „Grimme, Natalis & Co." von E. Hammer veröffentlicht worden. Januarheft 1919.

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig


Digitized by Google

APR 1
GENERAL LIBRARY
UNIV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ für Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben unter Mitwirkung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang.

1924.

2. Heft: Februar.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1924.

Digitized by Google



Öllultpumpe

Max Kohl A.G. Chemnitz

Seit 1876 bestehend

Physikalische Apparate
Einrichtung von Hörsälen
Experimentier-Schalttafeln
Luftpumpen für Laboratorien
Funkeninduktoren

[6191]

Listen, Kostenanschläge, Beschreibungen usw. auf Wunsch

Franz Schmidt & Haensch

Prinzessinnenstr. 16 **BERLIN S 42** Prinzessinnenstr. 16



Großer Quarzspektrograph

Polarisations-Spektral-Apparate sowie
Photometer für wissenschaftlichen und technischen Gebrauch.
Projektionsapparate, Spezial-Kugelepiskope und Epidiaskope.
Anomaloskope nach Nagel, Thornersche Augenspiegel.

Preislisten kostenfrei.

[6220]



Gegründet 1791

[6197]

HILDEBRAND

Präzisions-Instrumente

für alle Zweige des Vermessungswesens

MAX HILDEBRAND früher August Lingke & Co. G. m. b. H.
FREIBERG-SACHSEN 50

Digitized by Google

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium.

Prof. Dr. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIV. Jahrgang. **Februar 1924.** Zweites Heft.

Einige Mitteilungen über die Entwicklung der Beleuchtung von Meßstellen an geodätischen Vermessungs-Instrumenten.

Von

Karl Lüdemann in Freiberg.

1. Die Beleuchtung einer Meßstelle an einem wissenschaftlichen Instrument wurde zuerst bei den nächtlichen Arbeiten des Astronomen notwendig. Man verwendete dabei Handlampen, die sich in ihren verschiedenen Formen und gespeist durch pflanzliche und tierische Öle und Fette, durch Mineralöle, Gas verschiedener Herkunft und schließlich durch Elektrizität bis in die heutige Zeit erhalten haben.

Mit der Einführung des Fernrohres mit Fadenkreuz in die Beobachtungstechnik als Meßgerät ergab sich die Notwendigkeit, bei Nachtbeobachtungen das Fadenkreuz zu beleuchten. Hierbei verwendete schon Olaus Römer (1644—1710), und wohl als erster, einen vor dem Objektiv angebrachten Spiegelring [**1** S. 48 Abb. 60; **2** S. 904 bis 906][1]), der als „Illuminator" oder „Leuchtblende" bei markscheiderischen Instrumenten und solchen für Forschungsreisende und einfache astronomische Arbeiten bis heute in Gebrauch geblieben ist und in seiner Einfachheit nicht übertroffen werden konnte[2]). Wir finden den Illuminator zunächst bei großen und kleinen astronomischen Instrumenten, so z. B. 1737 bei *Le Monniers Instrument des passages* [**1** S. 57 Abb. 70b], das vermutlich von G. Graham (1675—1751) gebaut ist, dann auch beim geodätischen (terrestrischen) Theodolit, um hier später bei den größeren, mit besonders ausgebildeten Höhenkreisen ausgestatteten Formen der Beleuchtung durch die durchbohrte Fernrohrachse zu weichen [**3**, **4** S. 25, 36], die unter Benutzung der verschiedensten Lichtquellen, heute oft Elektrizität, noch jetzt meist verwendet wird.

An Versuchen, die Beleuchtung des Fernrohrgesichtsfeldes oder der Fäden des Fadenkreuzes auf andere Weise zu erzielen, hat es nicht gefehlt. Von den optischen Einrichtungen sei hier die schöne, besonders auch für kleine Instrumente geeignete Konstruktion von E. Abbe [**5**] genannt.

1838 hatte Arago in der Pariser Akademie der Wissenschaften [**6** S. 242] über allerdings unbefriedigende Versuche mit einem Mikrometer von Capocci berichtet.

[1]) In den eckigen Klammern beziehen sich die halbfetten Zahlen auf das am Schluß gegebene Verzeichnis der angezogenen Schriften.

[2]) Es sei hier beiläufig darauf hingewiesen, das Olaus Römer bereits Skalenmikroskope benutzt hat. Er verwendete, da er die damals zur Messung kleiner Winkelwerte meist gebrauchten Transversalen und Nonien nicht liebte, sowohl bei der *machina domestica* (1689), dem ersten Durchgangsinstrument, wie bei der *rota meridiana* (1704), dem ersten Meridiankreis, ein bzw. zwei Mikroskope mit je 11 festen Fäden, die so angeordnet waren, daß die 10 Intervalle der Fäden genau ein Teilungsintervall von 10′ am Gradbogen bzw. Kreis ausfüllten [**1** S. 48, 50, 51].

Digitized by Google

„bei dem sehr feine Metallfäden im Gesichtsfeld durch eine Volta-Säule glühend gemacht wurden“ [7 S. 119]. 1847 konnte er mitteilen [8 S. 321], „daß er von Breguet mit gutem Erfolg einen Spinnfaden von vorn her durch einen glühenden Draht habe beleuchten lassen“ [7 S. 119]. 1845 verwendete A. Repsold [7 S. 21] auf einen Vorschlag von A. Steinheil bei einem Heliometer für Oxford zur Beleuchtung elektrisch glühende Platinfäden.

Auch phosphoreszierende Leuchtfarben sind zur Herstellung von selbstleuchtenden Fadenkreuzen vorgeschlagen und verwendet worden: so von H. C. Vogel [9], C. Bohn [10] und L. C. Wolff [11].

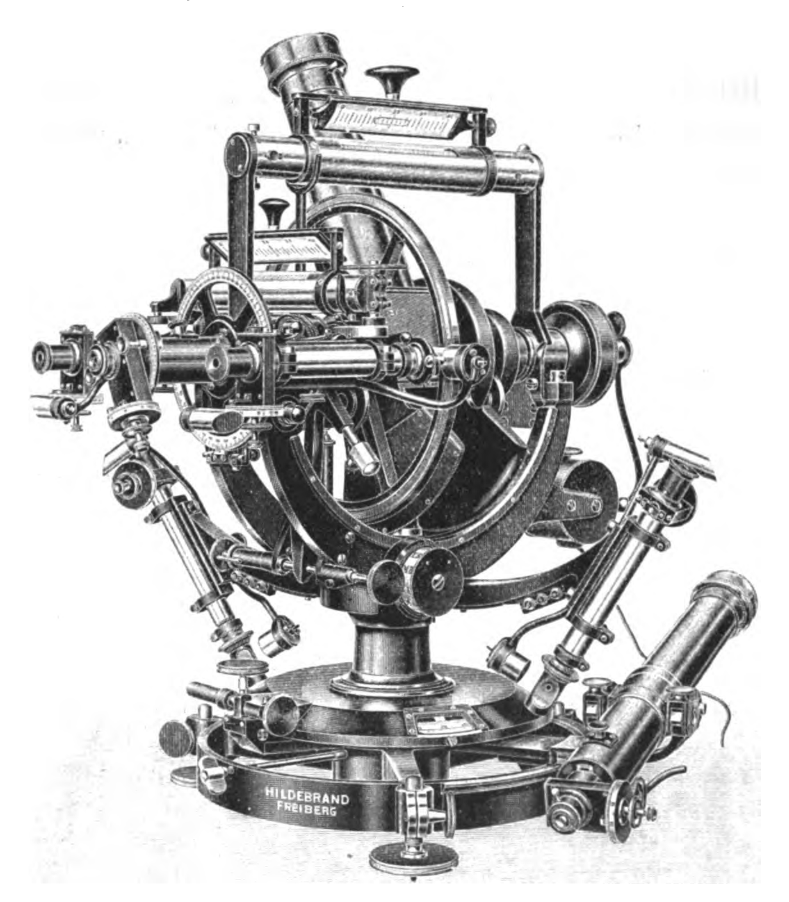


Fig. 1.

2. Während man der Feld- oder Fadenbeleuchtung ein großes Interesse zuwendete, hat man sich bei der Beleuchtung von Teilungen sehr lange mit Handkerzen oder Handlampen mit Öl beholfen. Die Gasbeleuchtung, wie sie Airy bei dem 1860 fertiggestellten Great Equatoreal verwendete [7 S. 94] und wie man sie auch gelegentlich in Deutschland benutzte, konnte sich keine dauernden Freunde erringen. Auch die elektrische Beleuchtung setzte sich nur sehr allmählich durch; so schlug L. Ambronn noch 1899 vor, außer den elektrischen Lampen auch Öl- oder Petroleumlicht, das er für zuverlässiger hielt [2 S. 999], vorzusehen [2 S. 402], eine Einrichtung, die heute nur noch in ganz besonderen Fällen als zweckmäßig bezeichnet werden kann.

Digitized by Google

Das 1886 in den Repsold-Werkstätten in Hamburg vollendete Heliometer der Sternwarte in Leipzig erhielt elektrische Beleuchtung der Teilungen, bei der, um hängende Drähte zu vermeiden, die Leitungen mit Gleitkontakten durch die der Länge nach durchbohrten Achsen geführt wurden. J. A. Repsold [7 S. 41] sagt hierzu: „Die elektrische Beleuchtung wurde nun allgemein die Regel, weil nun die Möglichkeit bestand, kleine Lichtkörper mit geringer elektrischer Spannung überall dort anzubringen, wo es am zweckmäßigsten geschehen konnte. Im allgemeinen wurde dabei angenommen, daß jedes Licht nur so lange brennt, als es benutzt wird; es mußten also überall die Einschalter bequem zur Hand sein.“

Bei zwei Universalinstrumenten von 50 cm und 35 cm Teilungsdurchmesser, die von der Firma Repsold 1895 gebaut und 1905 mit elektrischer Beleuchtung versehen wurden, zeigen sich in den von J. A. Repsold [7 S. 46 Abb. 86 und 88] gegebenen Abbildungen zum Teil jedoch noch lose hängende Drähte.

Wie wenig aber die Beleuchtung von größeren Universalinstrumenten noch 1899 bekannt geworden war, ersieht man daraus, daß L. Ambronn [2 S. 402], der von der Einführung des elektrischen Glühlichtes „in neuer Zeit“ spricht, unter den vielen, in seinem Werk [2 S. 818—851] enthaltenen Abbildungen solcher Instrumente nicht eine einzige mit Darstellung einer elektrischen Beleuchtung gibt, während er tragbare Durchgangsinstrumente mit derartigen Einrichtungen mehrfach, z. B. [2 S. 940] von M. Hildebrand in Freiberg abbildet.

Tatsächlich haben aber die Hildebrand-Werkstätten schon bald nach 1890 angefangen, ihre großen Universalinstrumente neben der Ölbeleuchtung mit elektrischer Lichtanlage auszustatten. Im Mai 1896 waren die Instrumente bereits mit einem Hauptschalter versehen, der nacheinander die einzelnen Brennstellen in der erforderlichen Reihenfolge betätigte. In Fig. 1 ist ein 21 cm-Universalinstrument dieser Art dargestellt, das die ganze Beleuchtungseinrichtung schön erkennen läßt; die Stromzuführung erfolgte nach dem Gegengewicht [12]. Der hierin liegende Mangel ist bei dem in Fig. 2 dargestellten gleichen Instrument, das aus

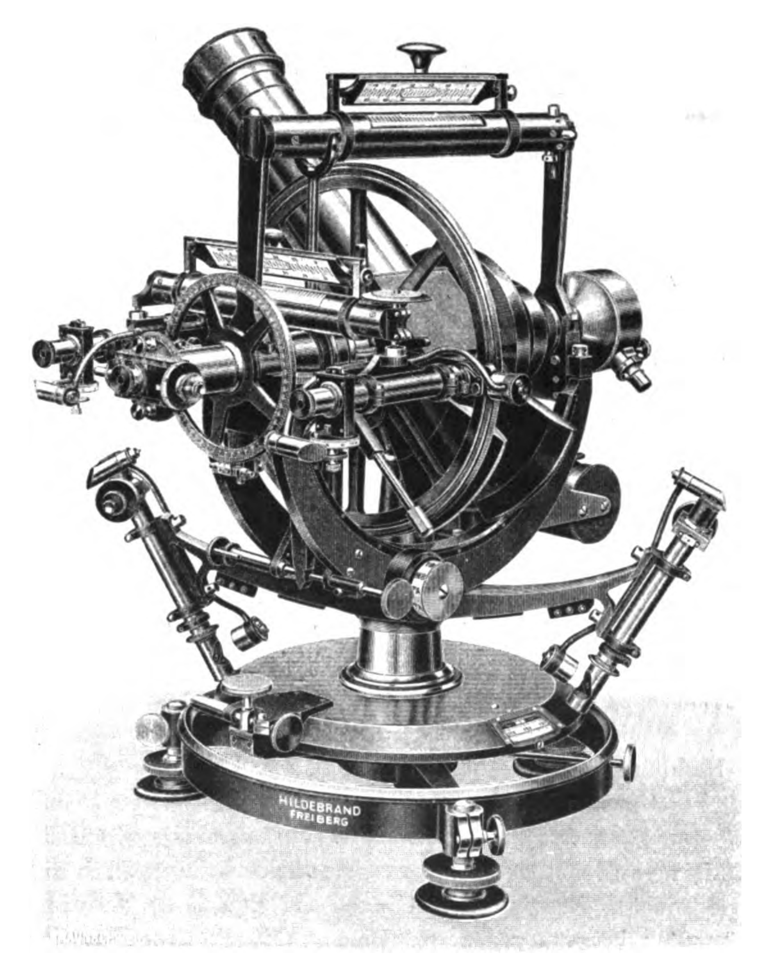


Fig. 2.

Digitized by Google

den ersten Jahren dieses Jahrhunderts stammt, beseitigt; die Stromzuführung geschieht in den Dreifußring und zwar an der dem Beschauer abgekehrten Seite. Jedes Stück der Beleuchtungseinrichtung, deren sämtliche Drähte vollkommen eingebettet, zum Teil in Instrumententeile eingelassen sind, ist abnehmbar. Diese Beleuchtung ist so durchgebildet, daß sie in der Leistung und in der Betriebssicherheit allen Ansprüchen genügt, trotzdem aber in wenigen Minuten abgebaut und durch eine andere Einrichtung ersetzt werden kann; irgendeiner wesentlichen Verbesserung ist sie wohl nicht mehr fähig.

Andere Werkstätten pflegen ihre Instrumente dieser Art in der Regel nur mit elektrischer Feldbeleuchtung und im übrigen mit einer elektrischen Handlampe auszurüsten [13 S. 74 Abb. 82].

3. Eine große Bedeutung gewann die Beleuchtung von Instrumententeilen mit dem Vordringen des Theodolits in das markscheiderische Vermessungswesen unter Tage.

Zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes des Fernrohres oder des Fadenkreuzes verwendete man zunächst die bis heute noch im Gebrauch befindliche, auf den Objektivkopf des Fernrohrs aufsteckbare Leuchtblende (Illuminator), deren Formen sich seit J. Weisbach [14 S. 26] und E. Borchers [15 S. 31—32] unverändert erhalten haben. Daneben trat die Feldbeleuchtung durch die durchbohrte Fernrohrachse [3]. Andere Konstruktionen konnten sich nicht durchsetzen.

Größere Schwierigkeiten bereitete die Beleuchtung der abzulesenden Teilungen, insbesondere der Nonien. J. Weisbach [14 S. 26—27] gab 1859 eine zylindrische Handlampe an; er meinte: „Das Ablesen am Theodoliten in der Grube mit Hülfe einer Lampe hat, im Vergleiche zu den Beobachtungen über Tage, keine Schwierigkeiten; es ist im Gegenteil dasselbe bei Lampenlicht viel besser zu bewerkstelligen als bei Sonnenlicht, weil man hier die Beleuchtung ganz in seiner Gewalt hat und nach Bedürfnis dirigiren kann." Auch E. Borchers [15 S. 105—107] schlug 1870 eine Handlampe aus Messing von zylindrischer Form mit Fuß vor, wie sie „bei dem gewöhnlichen Ziehen mit dem Compaß und Gradbogen am Oberharze von den Markscheidern in Anwendung gebracht werden." Aber G. Chr. K. Hunäus [16 S. 302] glaubte 1864, daß die erforderliche gute Beleuchtung „mittelst des gebräuchlichen Markscheidelichts nur unbequem sicher zu vermitteln ist" und empfahl daher auch für untertägige Messungen den Gebrauch von Schraubenmikroskopen!!!

Noch heute wird die Handlampe in Gestalt einer Grubenlampe der verschiedensten Konstruktion, Ausbildung und Speisung, zum Teil mit Linse oder Glasstab [26 S. 283], im größten Umfang verwendet. Besondere Formen, von denen ich aus der vorhandenen großen Anzahl nur die Ableselupe von C. Sickler in Karlsruhe [17] nennen will, konnten sich nur schwach durchsetzen.

Genannt seien hier noch die 1886 mit gutem Erfolg abgeschlossenen Bemühungen von O. Chrismar [35], ein brauchbares elektrisches Geleucht zu schaffen, das er übrigens bereits als „Leuchtlot", als Zielzeichen für Firstenpunkte benutzte. Für die Ablesung von Nonien gab er ein von dem Akkumulator der Grubenlampe gespeistes elektrisches Handlämpchen an [35, 26 S. 284].

Gewisse bei der Benutzung einer Handlampe leicht auftretende Schwierigkeiten veranlaßten A. Fennel [3] 1888, eine mit einem Theodolit fest verbundene, durch zwei kleine Petroleumlampen gespeiste Beleuchtungseinrichtung zu konstruieren. Ähnliche Einrichtungen sind später auch an englischen und amerikanischen Universalinstrumenten bekannt geworden. Eine praktische Bedeutung hat aber die Konstruktion von A. Fennel ebensowenig erlangt, wie die von Jahr [18, 19] 1898 angegebene elektrische

Digitized by Google

Beleuchtung der Nonien an Grubentheodoliten, die zwar gegenüber gelegentlichen Versuchen auf diesem Gebiet einen unleugbaren Fortschritt bedeutete, für dauernde Verwendung bei untertägigen Arbeiten, zumal bei ungünstigen Grubenverhältnissen, aber doch noch nicht geeignet war.

Die Firma M. Hildebrand in Freiberg hat etwa seit dem Jahre 1900 verschiedentlich Theodolite, die für untertägige Arbeiten bestimmt waren, und Instrumente für Forschungsreisende mit einer elektrischen Beleuchtungseinrichtung versehen, die der von ihr an großen Universalinstrumenten verwendeten in der Konstruktion nachgebildet war. Sofern das Instrument infolge gedrängter Ausführung hierbei Schwierigkeiten bot, ist zur Rückleitung des Stromes das Metall des Vermessungsinstrumentes selbst benutzt worden. Die so ausgestatteten Instrumente gingen vornehmlich in das Ausland; sie wurden besonders von spanischen Bergingenieuren und Markscheidern geschätzt. In Deutschland fanden sie nur bei besonderen Liebhabern Beachtung.

An einen mit elektrischer Beleuchtung ausgestatteten Theodolit müssen folgende Hauptforderungen gestellt werden:

a) Die elektrische Beleuchtung darf den Gebrauch des Instrumentes an sich nicht beeinträchtigen.

b) Die elektrische Beleuchtung muß betriebssicher sein.

c) Bei einem Versagen der elektrischen Beleuchtung muß der Theodolit bei Anwendung jeder beliebigen anderen Beleuchtung voll gebrauchsfähig sein.

d) Die Leistungsfähigkeit des Theodolits für übertägige Messungen darf durch die elektrische Beleuchtung nicht vermindert werden.

e) Es soll stets nur die Brennstelle leuchten, die gerade benutzt wird.

Die Fig. 3 zeigt einen kleinsten Hildebrand-Nonientheodolit [20, 21] mit einem Durchmesser der Teilung des Grundkreises von nur 80 mm in etwa $^4/_7$ der natürlichen Größe, der allen diesen Bedingungen entspricht.

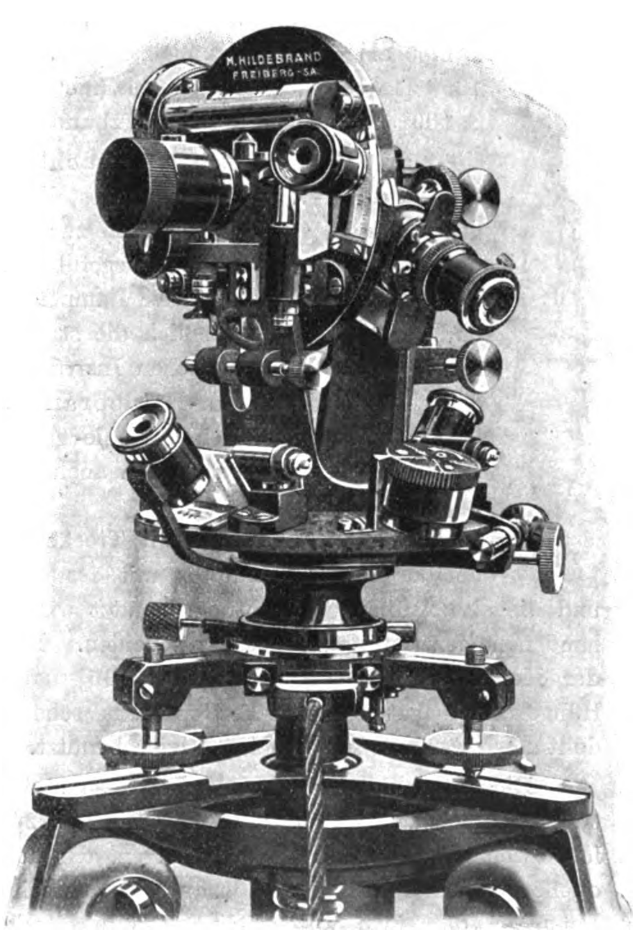


Fig. 3.

Die vollkommen gesichert geführten Leitungsdrähte, die Stromzuführung und die mit einem einfachen Handgriff abnehmbaren, zweckmäßig konstruierten Lampen hindern die Benutzung des Instruments weder unter noch über Tage. Durch einen Hauptschalter werden nacheinander in Tätigkeit gesetzt: die Feldbeleuchtung; die Beleuchtung von Nonius I, dann von Nonius II, beide am Grundkreis; schließlich die des Nonius am Höhenkreis.

Digitized by Google

Als Stromquelle dient ein Trockenelement, ein Akkumulator oder besser die heute weitverbreitete elektrische Grubenlampe mit festem Elektrolyt.

In der Nachkriegszeit hat die Firma F. W. Breithaupt & Sohn in Kassel Grubentheodolite mit elektrischer Beleuchtung gefertigt und auf dem Markscheidertag 1922 in Bochum [**22** S. 98, **23** S. 1295—1296] ausgestellt, bei denen die Stromzuführung durch die durchbohrte Vertikalachse erfolgt [**24**].

Über die Wirtschaftlichkeit der elektrischen Beleuchtung bei Grubentheodoliten sind die Ansichten der Praktiker, da längere Erfahrungen in Deutschland kaum vorliegen, noch sehr geteilt. W. Löhr [**23** S. 1295] meint, daß die elektrische Beleuchtung „die Untertagemessungen sehr erleichtert", andere Markscheider kommen zu einer mehr oder minder bestimmten Ablehnung.

4. Im engen Zusammenhang mit der Beleuchtung des Theodolits bei untertägigen Messungen steht die Kenntlichmachung der Zielzeichen.

Bei der Punktbezeichnung unter Tage ist schon früh die Flamme einer Lampe als eigentliches Zielzeichen benutzt worden. J. Weisbach beschrieb 1859 [**14** S. 24] eine „Hängelampe", die auch später [**25** S. 152—153, **26** S. 109] mit seinem Namen verbunden geblieben ist.

In Fig. 4 ist eine Weisbachsche Lotlampe in der Ausführung der Hildebrand-Werkstätten dargestellt, die an einem verstellbaren Kettengehänge so aufgehängt ist, daß zur Ausschaltung eines Zentrierungsfehlers der Flamme eine Drehung ausgeführt werden kann.

Als Lichtquelle solcher Lampen diente zunächst Öl, dann die Stearin- und Benzinkerze, schließlich die stabförmige Trockenbatterie, wie sie auch sonst bei markscheiderischen Instrumenten, z. B. der photographischen Loteinrichtung Fuhrmann-Hildebrand [**27**], und zur Ablesung von Teilungen (sog. Lichtstab) mit einer Kohle- oder Metallfadenlampe verwendet wird. In Schlagwettergruben werden auch Sicherheits-Lampen benutzt [**25** S. 152 **26** S. 109].

Fig. 4.

Aus der Lotlampe mit Trockenbatterie ist die Form hervorgegangen, bei der ein Akkumulator mit festem Elektrolyt, eine Lampe mit Spitze, und die alte Aufhängevorrichtung benutzt wird, die es ermöglicht, einen etwa vorhandenen Zentrierungsfehler auszuscheiden. Diese Ausführung bedeutet gegenüber der Konstruktion von O. Chrismar [**35**] natürlich einen erheblichen Fortschritt. Hängelampen hat übrigens E. Borchers schon 1842 [**15** S. 104] bei seinen Theodolitmessungen im Klausthaler Revier benutzt.

Die Entwicklung der Trockenbatterien und der Akkumulatoren mit festem Elektrolyt führte M. Braunschu und F. Czuya 1920 [**28, 29, 30**] dazu, das übliche Metalllot durch ein „Leuchtlot" zu ersetzen, das aus einer Metallfassung, einer Stromquelle und einer Lampe mit darunter angebrachter Spitze besteht. Diese beleuchtete Lotspitze, die einen wesentlichen Bestandteil des Leuchtlotes bildet, ist aber nicht neu, denn sie wird von den Firmen M. Hildebrand G. m. b. H. in Freiberg und F. W. Breithaupt & Sohn in Kassel schon lange benutzt.

Die letztgenannte Firma konstruierte — wohl um dieselbe Zeit — ebenfalls ein „Lichtlot", das auf den Markscheidertagen in Kassel im September 1921 [**31** S. 94] und in Bochum im September 1922 [**22** S. 98] vorgeführt wurde. Beide Formen sind eine Fortführung der Konstruktionen von J. Weisbach und O. Chrismar, die durch die Verwendung von Akkumulatoren mit festem Elektrolyt möglich wurde.

Digitized by Google

J. Weisbach [14 S. 24—25] gab ferner für den Fall, daß „der Theodolit nicht unmittelbar auf die Spreize, sondern auf einen tellerförmigen Untersetzer zu stehen“ kam, eine „Setzlampe“ an, die in gerader Folge mit dem Theodolit ausgewechselt wurde, eine Konstruktion, der ähnliche, mehr oder minder vollendete im Laufe der Zeit folgten.

Im Jahre 1910 führten die Hildebrand-Werkstätten für die von M. Hildebrand 1876 konstruierte „Freiberger Aufstellung“ eine elektrische Signalbeleuchtung ein, die in Fig. 5 in der ersten Ausführung dargestellt ist. In den Zylinder eines Freiberger Untersatzes wird der Leuchtkörper mit durch vier Schrauben zentrierbarem Lampenträger eingesetzt. Eine trotzdem etwa noch verbliebene Exzentrizität der Glühlampe wird dadurch beseitigt, daß diese um 180° gedreht werden kann. Um bei der zunächst verwendeten spitzenlosen Lampe das Fadenkreuz des Theodolitfernrohres einwandfrei einstellen zu können, wurde ein Zylinderabschnitt mit schmalen Einschnitten (Lichtspalten) verwendet, die auf den Theodolit eingerichtet werden hönnen. Später wurden birnenförmige Glaskörper mit Spitzen benutzt, die unmittelbar anzuzielen sind. Auf der mit dem Markscheidertag 1911 in Essen verbundenen Ausstellung wurde die Konstruktion vorgeführt.

Für die Steckhülsenaufstellung richtete die Firma F. W. Breithaupt & Sohn in Kassel 1911 ein aufrechtstehendes Spitzensignal mit elektrischer Beleuchtung ein [32], das 1914 [33] für Stoilschachtmessungen auch in umgekehrter Stellung ausgebildet wurde. Diese Konstruktion geht in der Grundform zurück auf das schon 1869 und früher von C. M. Bauernfeind [34 S. 129] beschriebene Signal mit Dreifuß, Säule und Kugel von Milchglas, in der sich eine Lampe oder ein Wachslicht befindet.

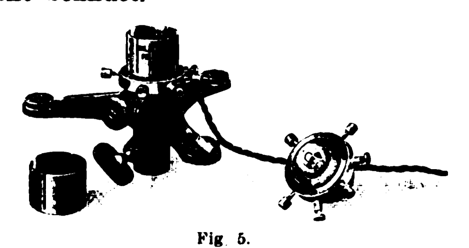


Fig. 5.

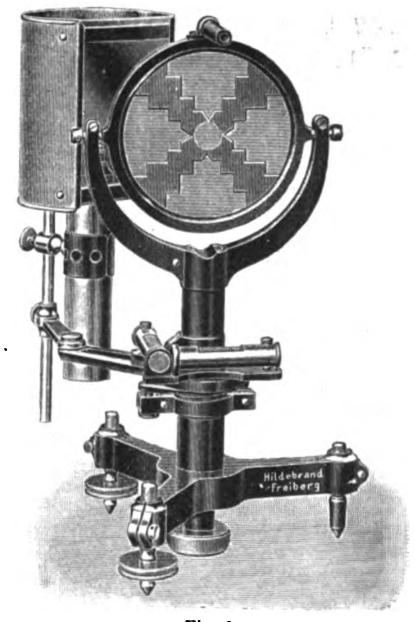


Fig. 6.

Das in Fig. 6 dargestellte, allgemein verbreitete Grubensignal wird auf jede unter Tage übliche Beleuchtungsart, in Bild 6 z. B. durch Benzinkerzen beleuchtet.

Auf andere Arten der Beleuchtung von Zielzeichen, z. B. der Lotschnur durch die Grubenlampe mit vorgehaltenem Abblendstoff, soll hier nicht eingegangen werden.

5. Eine besondere Rolle spielt die Ausbildung geeigneter Zielzeichen und die Beleuchtung der Instrumente bei der unterirdischen Absteckung von Tunnelanlagen [36 S. 912—920, 37 S. 305—310]. Als Zielzeichen dienten sowohl bei kleineren Arbeiten [38], wie bei den gewaltigen Alpendurchbrüchen mit pflanzlichen, tierischen oder mineralischen Ölen und Fetten gespeiste Lampen oder Azetylenlaternen. Ohne diese Hilfsmittel wäre die Richtungsangabe für die Bauausführung ohne Einbuße an

Digitized by Google

der durch die umfangreiche oberirdische Absteckung gewonnenen Genauigkeit bei dem Mont Cenis-Tunnel [39], dem St. Gotthard-Tunnel [40, 41, 42, 43], dem Simplon-Tunnel [44, 45] und dem durch seine Linienführung besonders schwierigen Lötschberg-Tunnel [46, 47] nicht möglich gewesen, zumal die Unsichtigkeit der Luft und eigenartige Refraktionsverhältnisse [48] besondere Hindernisse bilden.

Die Zielzeichen haben sich im Laufe der Zeit naturgemäß nur in Einzelheiten geändert. Beim Bau des Lötschberg-Tunnels bestanden sie aus einem Dreifuß mit Stellschrauben und einem drehbaren Vertikalachsenkörper, auf dem ein 40 mm breiter und 100 mm hoher durch eine Milchglasscheibe verschließbarer Zielschlitz angeordnet war. Die Breite des Schlitzes konnte durch einzuschiebende Blechstreifen bis zu 10 mm verringert werden. Der als Zielzeichen dienende Schlitz wurde durch eine Azetylenlampe mit Reflektor beleuchtet.

Die bei den untertägigen Achsabsteckungen verwendeten Theodolite oder theodolitähnlichen Instrumente haben sich ebenfalls nur wenig verändert, zumal ihre durch die Zweckbestimmung der Durchrichtung einer Geraden gegebene konstruktive Lösung eine verhältnismäßig einfache ist. Als es sich aber beim Lötschberg-Tunnel darum handelte [46 S. 8], ein aufgetretenes Hindernis durch Abweichung von der Geraden durch 3 Bogen zu umgehen, mußte ein Theodolit von großer Leistungsfähigkeit [46 S. 11, 47 S. 321—322] benutzt werden, bei dem an Stelle der üblichen Beleuchtung durch Öl-, Azetylen- oder elektrische Handlampen [49 S. 35—36] feste elektrische Beleuchtung vorzusehen war.

Das von der Firma M. Hildebrand in Freiberg im Jahre 1909 erbaute, in Fig. 7 dargestellte Instrument entspricht in seiner Grundform den Triangulationstheodoliten, die von der genannten Firma für die Hauptdreiecksmessung der Schweiz geliefert werden. Der Grundkreis von 210 mm Teilungsdurchmesser wird durch 2 Schraubenmikroskope mit der Trommeleinheit 2″ abgelesen. Es werden nacheinander in der Beleuchtung geschaltet: Fernrohrgesichtsfeld (Helligkeit beliebig veränderlich); Gesichtsfeld, dann Trommel Schraubenmikroskop *A*; Gesichtsfeld, dann Trommel Schraubenmikroskop *B* (beide Mikroskope am Grundkreis); Gesichtsfeld Skalenmikroskop *A*; Gesichtsfeld Skalenmikroskop *B* (beide Mikroskope am Höhenkreis). Die Helligkeit aller Leuchtstellen kann durch einfache Hilfsmittel geändert werden. Alle Drähte sind in den Instrumentenkörper eingelassen oder verlaufen in Isolierröhren. Das in der Fig. 7 dar-

Fig. 7.

Digitized by Google

gestellte offene Drahtstück ist ebenfalls eingebaut worden. Gleiche Instrumente sind von den Hildebrand-Werkstätten im Jahre 1910 für schwierige Tunnelabsteckungen der Gesellschaft „Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Mediterranée“ in Paris, im Jahre 1911 der Gesellschaft für den Bau von Eisenbahnen in der Türkei für die Bagdadbahn geliefert worden.

6. Der Notwendigkeit, eine eilige Dreiecksmessung in den Wintermonaten (1918 bis 1920), insbesondere bei nebeligem Wetter auszuführen, verdankt die Ausstattung eines „Katastertheodolits mit Ablesemikroskopen“ mit elektrischer Beleuchtung durch die Firma De Koningh in Arnhem (Holland) [**50**] ihr Dasein. Die konstruktive Durchbildung der Beleuchtung, die sich übrigens nur auf das Gesichtsfeld der beiden Mikroskope erstreckt, ist sehr einfach und ursprünglich; sie steht auch in der Zweckmäßigkeit noch hinter der Ausführung von Jahr [18, **19**] zurück.

7. Nachdem im Anfang des 17. Jahrhunderts, etwa in den Jahren 1602 bis 1604, Vincenzo Casciarolo, ein Schuhmacher in Bologna, gefunden hatte, daß mit Kohle geglühter Schwerspat, der dem Licht ausgesetzt worden war, im Dunkeln leuchtete, sind phosphoreszierende Leuchtfarben zunächst zu Spielereien, dann zu praktischen Zwecken immer wieder benutzt worden. Diese Leuchtfarben haben die Eigenschaft, bei einer Bestrahlung einen gewissen Teil des Lichtes aufzuspeichern und nach der Belichtung wieder abzugeben, wobei das zunächst verhältnismäßig helle Phosphorlicht jedoch ziemlich schnell abklingt. Der Wert der phosphoreszierenden Leuchtfarben wurde dadurch sehr eingeschränkt.

Einen wesentlich besseren Wirkungsgrad besitzen die radioaktiven Leuchtfarben, über deren Eigenschaften wir durch die Untersuchungen von G. Berndt [**51**] näher unterrichtet sind. „Radioaktive Leuchtfarben sind Gemenge aus radioaktiven Substanzen und Stoffen, welche durch die von jenen ausgehenden Strahlen zu dauernder Lumineszenz erregt werden. Unter diesem Begriff faßt man alle diejenigen Lichterscheinungen zusammen, welche ohne merkliche Temperaturerhöhung der leuchtenden Körper erfolgen“ [**51** S. 1]. Solche Leuchtfarben sind in immer größerem und ganz besonders durch den Großen Krieg gesteigertem Umfang an Waffen [**52**], in Zielfernrohren zur Bezeichnung des Abkommens (Fadenkreuz usw.), bei den verschiedensten Instrumenten [**53**], ganz besonders aber an Uhren und Kompassen [**54, 55**] und zu verschiedenen technischen, physikalischen, medizinischen und sonstigen Zwecken [**51** S. 92—98] benutzt worden.

In den Jahren 1908 bis 1911 habe ich Versuche mit phosphoreszierenden, im Jahre 1913 mit radioaktiven Leuchtfarben angestellt, um ihre Verwendungsmöglichkeiten für markscheiderische Messungen unter Tage zu erproben. Diese Arbeiten hatten jedoch weder nach der technischen, noch nach der wirtschaftlichen Seite einen befriedigenden Erfolg.

Die Erfahrungen des Krieges veranlaßten mich, die Versuche 1919 mit den durch die Kriegserfahrungen wesentlich verbesserten radioaktiven Leuchtfarben wieder aufzunehmen. Es wurde untersucht, ob sich selbstleuchtende Zielzeichen in technisch und wirtschaftlich zulänglicher Weise herstellen und verwenden lassen. Obwohl diese Erprobungen noch nicht vollständig abgeschlossen sind, darf doch wohl gesagt werden, daß eine Benutzung derartiger Einrichtungen in der markscheiderischen Praxis in größerem Umfang vorläufig nicht zu erwarten ist.

Ferner ist versucht worden, einzelne Teile von Instrumenten, z. B. Abseheinrichtung (Diopter) am Fernrohr, Schraubenköpfe, Teilungsteile usw. mit Leuchtmarken, -zeichen oder -flächen zu versehen. Insbesondere haben die Hildebrand-Werkstätten

Digitized by Google

in Freiberg bereits 1919 die sonst gewöhnlich durch verschiedene Form für den Gebrauch im Dunkeln besonders kenntlich gemachten Schraubenköpfe bei Repetitionstheodoliten mit Leuchtmarken versehen, eine Einrichtung, auf die auch C. Müller [56] in demselben Jahr hingewiesen hat. Nennenswerte Beachtung hat sie in der Praxis bislang nicht gewonnen.

Obwohl die Herstellung [51 S. 49—65], Prüfung [51 S. 65—92] und die Messung der Helligkeit [57] von radioaktiven Leuchtfarben in den letzten Jahren sehr gefördert worden ist, werden sie für die Beleuchtung von Meßstellen an größeren geodätischen Vermessungsinstrumenten eine erhebliche Bedeutung in absehbarer Zeit kaum erhalten.

Freiberg-Sa., Hildebrand-Werkstätten.
1923 September 16.

Verzeichnis der angezogenen Schriften.

1. J. A. Repsold, Zur Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge von Purbach bis Reichenbach 1450 bis 1830. Leipzig 1908.
2. L. Ambronn, Handbuch der astronomischen Instrumentenkunde. Band I und II. Berlin 1899.
3. A. Fennel, Einrichtung zur Beleuchtung der Nonien und des Gesichtsfeldes von Theodoliten mit zentrischen Fernrohren; *diese Zeitschr.* **8.** *S. 236—238. 1888.*
4. A Fennel, Geodätische Instrumente. Heft II: Nonien-Theodolite. Stuttgart 1911.
5. S. Czapski, Einrichtungen zur Fädenbeleuchtung bei astronomischen Instrumenten von Prof. Abbe; *diese Zeitschr.* **5.** *S. 347—356. 1885.*
6. *Compt. Rend.* **6,** nach J. A. Repsold.
7. J. A. Repsold, Zur Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge von 1830 bis um 1900. Leipzig 1914.
8. *Compt Rend.* **24,** nach J. A. Repsold.
9. H. C. Vogel, Vermischte Mittheilungen, betreffend Spektralapparate; *diese Zeitschr.* **1.** *S. 20—22. 1881.*
10. C. Bohn, Selbstleuchtendes Fadenkreuz; *diese Zeitschr.* **2.** *S. 12—13. 1882.*
11. L. C. Wolff, Selbstleuchtendes Fadenkreuz; *diese Zeitschr.* **2.** *S. 90—92. 1882.*
12. E. Hammer, Neue Universale und sonstige geodätische Instrumente von M. Hildebrand; *diese Zeitschr.* **30.** *S. 14—16. 1910.*
13. W. Breithaupt, Die Theodolite des math.-mech. Instituts F. W. Breithaupt & Sohn in Kassel. 2. Aufl. Kassel 1919.
14. J. Weisbach, Die neue Markscheidekunst. 2. Abt. Braunschweig 1859.
15. E. Borchers, Die praktische Markscheidekunst. Hannover 1870.
16. G. Chr. K. Hunäus, Die geometrischen Instrumente der gesamten praktischen Geometrie. Hannover 1864.
17. K. Lüdemann, Neue Ableselupe von C. Sickler in Karlsruhe. *Zeitschr. f. Verm.* **39.** *S. 641—642. 1910.*
18. Jahr, Elektrische Beleuchtung der Nonien an Grubentheodoliten. *Zeitschr. f. Verm.* **27.** *S. 363—365. 1898.*
19. Jahr, Elektrische Beleuchtung der Nonien an Grubentheodoliten. *Glückauf* **34.** *S. 650—651. 1898.*
20. K. Lüdemann, Der 8 cm-Nonientheodolit von M. Hildebrand. *Mitt. a. d. Markscheidew. 3. F. S. 3—13, 62—69. 1914.*
21. K. Lüdemann, Die kleinsten Hildebrand-Nonientheodolite. *Allg. Verm. Nachr.* **35.** *S. 78—83. 1923.*
22. G. Schulte, Die XIII. Tagung des Deutschen Markscheider-Vereins. *Mitt. a. d. Markscheidew., Heft 2, S. 95—99. 1922.*
23. W. Löhr, Hauptversammlung des Deutschen Markscheider-Vereins. *Glückauf* **58.** *S. 1292—1296. 1922.*
24. D. R. P.-Anmeldung, Kl. 42 c. 5. A.-Z. B. 101 187.
25. O. Brathuhn, Lehrbuch der praktischen Markscheidekunst. 1. Aufl. Leipzig 1884.
26. O. Brathuhn, Lehrbuch der praktischen Markscheidekunst. 3. Aufl. Leipzig 1902.
27. K. Fuhrmann, Neuer photographischer Lotapparat Fuhrmann-Hildebrand. *Mitt. a. d. Markscheidew. N. F. Heft 11. S. 1—7. 1909.*
28. D. R. P. Nr. 356 839 Kl. 42c vom 15. VII. 1920.


Digitized by Google

29. D. R. G. M. Nr. 823 229 Kl. 42c vom 20. IV. 1921.
30. M. Braunschu, Leuchtendes Lot. *Braunkohle 1921. S. 133.*
31. G. Schulte, Die XII. Deutsche Markscheidertagung. *Mitt. a. d. Markscheidew., Heft 2, S. 91—97. 1921.*
32. F. W. Breithaupt & Sohn, Spitzensignal mit elektrischer Beleuchtung. *Mitt. a. d. Markscheidew. 3. F. S. 154—155. 1911.*
33. W. Breithaupt, Das Messen mit dem Theodolit in tonnlägigen Schächten. *Mitt. a. d. Markscheidew. 3. F. S. 150—152. 1914.*
34. C. M. Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde. 1. Abt. 3. Aufl. Stuttgart 1869.
35. O. Chrismar, Das elektrische Licht im Dienste des Markscheiders. *Österr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenw. 34. S. 395—397, Taf. 16. 1886.*
36. W. Jordan — C. Reinhertz — O. Eggert, Handbuch der Vermessungskunde. 2. Bd. 8. Aufl. Stuttgart 1914.
37. M. Näbauer, Vermessungskunde. Berlin 1922.
38. L. Winckel, Mitteilungen über die bei Tunnelabsteckungen gemachten Erfahrungen. *Zeitschr. f. Verm. 2. S. 249—254. 1873.*
39. Conte, Über die Herstellung des großen Tunnels durch die Alpen. *Der Civilingenieur. N. F. 9. Sp. 341—370. 1863.*
40. O. Gelpke, Bericht über die Bestimmung der St. Gotthard-Tunnel-Achse. *Der Civilingenieur. 3. F. 16. Sp. 143—168. 1870.*
41. C. Koppe, Bestimmung der Achse des Gotthardtunnels. *Zeitschr. f. Verm. 4. S. 369—444. 1875.*
42. C. Koppe, Bestimmung der Achse des Gotthardtunnels. *Zeitschr. f. Verm. 5. S. 86—90, 353 bis 382. 1876.*
43. O. Gelpke, Die letzten Richtungsverifikationen und der Durchschlag am Großen St. Gotthard-Tunnel. *Zeitschr. f. Verm. 9. S. 101—116, 149—163. 1880.*
44. M. Rosenmund, Achsabsteckung am Simplontunnel. *Zeitschr. f. Verm. 31. S. 74—82. 1902.*
45. M. Rosenmund, Die Schlußergebnisse der Absteckungen des Simplontunnels. *Zeitschr. f. Verm. 34. S. 578—579. 1905.*
46. F. Baeschlin, Über die Absteckung des Lötschbergtunnels. S.-A. aus *Schweiz. Bauzeitung 58. Heft 9, 10, 12—14. 1911.*
47. J. Stambach, Die Absteckung des Lötschbergtunnels. *Schweiz. Geometer-Zeitung 10. S. 271—278, 315—324. 1912.*
48. P. Gast, Über Luftspiegelungen im Simplon-Tunnel. *Zeitschr. f. Verm. 33. S. 241—271. 1904.*
49. Mieck, Die Vermessungsarbeiten in dem Tunnel bei Königsdorf. *Zeitschr. f. Verm. 24. S. 33—46. 1895.*
50. T. Polée, Kadaster-Theodolieten met elektrische Belichting der afleesmicroskopen en geelfilter. *Tijdschrift voor Kadaster en Landmeetkunde. 39. S. 100—102. 1923.*
51. G. Berndt, Radioaktive Leuchtfarben. Braunschweig 1920.
52. M. Arndt, Leuchtende Visiere und Leuchtfarben. *Centralztg. f. Opt. u. Mech. 37. S. 389—391. 1916.*
53. Bahr, Über Lumineszenzerscheinungen mit besonderer Berücksichtigung der radioaktiven Leuchtfarben. *Elektrotechn. Zeitschr. 40. S. 299—302. 1919.*
54. G. Berndt, Leucht-Marschkompasse. *Deutsche Opt. Wochenschr. 1. S. 87—89. 1915/16.*
55. H. Wolff, Die Orientierungsbussole von v. Bézard. *Allg. Verm. Nachr. 28. S. 329—332. 1916.*
56. C. Müller, Neues auf dem Gebiete des Landmessungswesens. *14. Mitt. Schlebachs Kalender für Landmessungswesen. 43. 1920. S. 2 (Stuttgart o. J. [1919]).*
57. B. Walter, Über radioaktive Leuchtmasse und die Messung ihrer Helligkeit. *Deutsche Opt. Wochenschr. 1. S. 537—540, 556—561. 1915/16.*

Digitized by Google

Über die Messung von Widerstandsänderungen bei nicht-ohmschen Leitern.

Von
H. Greinacher in Zürich.

Der elektrische Gleichstromwiderstand eines Leiters kann auf zweierlei Weise Veränderungen erfahren. Einmal kann er sich mit den äußeren Bedingungen wie Temperatur, Belichtung usw., dann aber bei manchen Leitern auch mit der Strombelastung ändern. In diesem Falle ist dann der Widerstandsbegriff nicht im ohmschen Sinne zu verstehen, sondern allgemein als Verhältnis von Klemmspannung und Stromstärke: $W = V/J$. Es ist nun die Frage von Interesse, inwiefern man von Widerstandsänderungen sprechen darf, wenn die Stromspannungscharakteristik keine durch den Nullpunkt gehende Gerade ist. Bei einem ohmschen Widerstand ist die Änderung, die infolge äußerer Einflüsse auftritt, ohne weiteres durch die Änderung der Neigung, welche die Widerstandsgerade $W = V/J$ erfährt, eindeutig gegeben. Im allgemeinen Falle aber müßte die ganze durch den äußeren Parameter hervorgerufene Änderung der Charakteristik festgestellt werden. Von einer äußeren Widerstandsänderung schlechtweg kann also gar nicht gesprochen werden[1]). Eine solche kann nur unter gewissen Voraussetzungen definiert werden.

Unter den unendlich vielen möglichen Festsetzungen gibt es nun aber offenbar einige ausgezeichnete, denen eine gewisse Bedeutung zukommt. Man kann die äußeren Widerstandsänderungen z. B. bei konstanter Klemmspannung oder bei konstanter Stromstärke messen und würde damit eine analoge Auswahl treffen, wie etwa bei der Definition der spezifischen Wärmen c_p und c_v. Ob man sich für die eine oder andere Festsetzung entscheidet, wird von dem konkreten Falle abhängen. Bei Elektronenröhren dürfte eher der Fall interessieren, wo die Anodenspannung V konstant ist und die Strom- bzw. Widerstandsänderung bei Variation des äußeren Parameters X, hier der Gitterspannung, gemessen wird. Bei Selenzellen ist die Kenntnis bei konstanter Strombelastung von Wert. Die Frage der äußeren Widerstandsänderung kann auch bei Drahtwiderständen auftreten, da auch diese zu nicht-ohmschen Leitern werden können. Wird z. B. ein Bolometerdraht durch den Meßstrom selbst erwärmt, so wird sein Widerstand von der Strombelastung abhängen. Wird nun durch äußere Energiezufuhr der Draht erwärmt und damit der Strom geändert, so tritt zur äußeren noch eine innere Widerstandsänderung[2]). In diesem Fall nun wird uns eine dritte Art äußerer Widerstandsänderung interessieren, nämlich diejenige bei konstanter Stromwärme.

---

[1]) Wie wenig bisher diesem Umstand Rechnung getragen worden ist, zeigt u. a. die umfangreiche Selen-Literatur (siehe etwa Chr. Ries, das Selen 1918, Hubers Verlag, Diessen vor München). Da für die Selenzellen das ohmsche Gesetz nicht gilt, so müßten stets sorgfältig die Stromspannungsverhältnisse angegeben sein, unter denen z. B. die Abhängigkeit des Widerstands von der Belichtung gemessen ist. Die hierfür gegebenen Formeln können nur einen Wert unter Angabe der zugrunde gelegten Meßweise haben. Es wäre nicht uninteressant, die bisherigen Forschungsergebnisse auf dem Gebiete unter diesem Gesichtspunkt einmal zu revidieren.

[2]) Im übrigen soll durch diese Bezeichnungen keine physikalische Trennung der Begriffe zum Ausdruck gebracht werden. Unter „äußeren" Widerstandsänderungen sollen lediglich solche Änderungen verstanden werden, die bei Variation eines äußeren Parameters bei irgendwelchen vorgeschriebenen Stromspannungsverhältnissen eintreten und die infolgedessen ganz verschieden sein können. „Innere" Widerstandsänderungen entsprechen der Bewegung auf der Charakteristik (bei konstantem, äußerem Parameter).

Digitized by Google

Wir wollen nun zunächst die Frage der äußeren Widerstandsänderung bei konstanter Spannung und bei konstantem Strom behandeln, im speziellen das Verhältnis dieser Größe zu der bei irgend einer Meßanordnung wirklich gemessenen totalen Änderung angeben.

1. Widerstandsänderung bei konstanter Spannung.

Sowohl W als J seien Funktionen des äußeren Parameters X und der Spannung V. Die totale Variation δW ist

$$\delta W = \frac{J\,dV - V\,dJ}{J^2}. \tag{1}$$

Ferner ist

$$dJ = \frac{\partial J}{\partial V}dV + \frac{\partial J}{\partial X}dX. \tag{2}$$

Daher

$$J^2\,\delta W = J\,dV - V\left(\frac{\partial J}{\partial V}dV + \frac{\partial J}{\partial X}dX\right). \tag{3}$$

Die Änderung der Stromstärke J mit der Klemmspannung V ergibt sich ferner aus der Meßanordnung. Wir schreiben

$$dJ = f\,dV. \tag{4}$$

f ist, wie unten noch gezeigt werden wird, Funktion der Meßwiderstände und wird durch Anwendung der Kirchhoffschen Regeln gefunden. Aus 2) und 4) folgt

$$dV = \frac{\frac{\partial J}{\partial X}}{f - \frac{\partial J}{\partial V}}\,dX. \tag{5}$$

Daher wird aus 3)

$$J^2\,\delta W = \left(J - V\frac{\partial J}{\partial V}\right)\frac{\frac{\partial J}{\partial X}}{f - \frac{\partial J}{\partial V}}\,dX - V\frac{\partial J}{\partial X}dX$$

$$= \frac{\partial J}{\partial X}dX\,\frac{J - Vf}{f - \frac{\partial J}{\partial V}}.$$

Erweitert man mit $-\frac{1}{V^2}$, so kommt, da $\frac{1}{V}\frac{\partial J}{\partial X} = \frac{\partial\left(\frac{J}{V}\right)}{\partial X}$,

$$\frac{J^2}{V^2}\,\delta W = \frac{\partial\left(\frac{J}{V}\right)}{\partial X}\,dX\,\frac{f - \frac{J}{V}}{f - \frac{\partial J}{\partial V}}$$

und unter Berücksichtigung, daß $\frac{J}{V} = \frac{1}{W}$

$$\delta W = \frac{\partial W}{\partial X}\,dX\,\frac{f - \frac{1}{W}}{f - \frac{\partial J}{\partial V}}. \tag{6}$$

Digitized by Google

Diese Beziehung läßt sich in noch etwas allgemeinerer Form fassen. $\frac{\partial W}{\partial X} dX$ ist die äußere Widerstandsänderung infolge Variation des Parameters X. Für einen zweiten Parameter Y würde eine analoge Beziehung bestehen, wobei der Bruch in 6) immer denselben Wert hätte. Addiert man die Änderungen $\left(\frac{\partial W}{\partial X} dX + \frac{\partial W}{\partial Y} dY + \ldots\right)$, so erhält man die totale äußere Variation bei konstanter Spannung. Wenn wir diese mit dW_V bezeichnen, so ist die gemessene Änderung allgemein

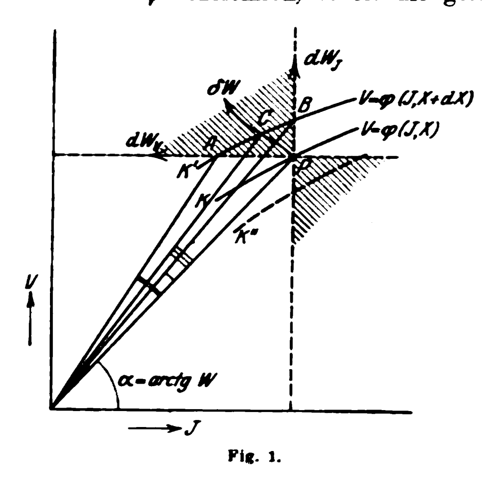


Fig. 1.

$$\delta W = dW_V \frac{f - \frac{1}{W}}{f - \frac{\partial J}{\partial V}}. \qquad 7)$$

In der Folge werden wir uns indessen auf die Variation eines einzigen Parameters beschränken. Wir sehen, im Spezialfall eines ohmschen Widerstandes, wo $J/V = \partial J/\partial V$, ist $\delta W = dW_V$, wie es sein muß. Wenn man bedenkt, daß f immer negativ sein muß, kann man noch folgendes allgemeine Resultat angeben. Die gemessene Widerstandsänderung δW ist $>$ oder $< dW_V$, je nachdem $J/V >$ oder $< \partial J/\partial V$. Da $\frac{\partial J}{\partial V}\frac{\partial V}{\partial J} = 1$, kann man auch schreiben $\delta W \gtreqless dW_V$, je nachdem $V/J \lesseqgtr \partial V/\partial J$. Die Bedeutung dieses Resultats ist leicht einzusehen, wenn man die Charakteristik $V = \varphi(J)$ zeichnet und durch den für die Messung maßgebenden Punkt (Arbeitspunkt P der Fig. 1) die Widerstandsgerade $V = JW$ zieht. Ist die Charakteristik flacher als die Gerade. d. h. nimmt mit V der Widerstand ab, so ist $\delta W < dW_V$; ist sie steiler als die Gerade. d. h. wächst der Widerstand mit V, so ist entsprechend $\delta W > dW_V$ ein Resultat, dessen Richtigkeit sich auch direkt einsehen läßt. Man bemerkt, daß auch bei nichtohmschen Leitern $\delta W = dW_V$ sein kann. Es ist nur nötig, daß die Widerstandslinie die Charakteristik tangiert.

Am einfachsten gewinnt man die äußere Widerstandsänderung natürlich, wenn man das Meßverfahren so wählt, daß die Klemmspannung V bei der Messung konstant bleibt. Dann ist $f = \frac{dJ}{dV} = \infty$, und δW ist dann stets gleich dW_V. Dies hat noch weiter den Vorteil, daß dies ohne weiteres nicht nur für differentielle, sondern auch für endliche Widerstandsänderungen Geltung hat. Beziehung 7) gibt zunächst nur den Zusammenhang zwischen gemessenen und äußeren Änderungen für kleine Werte; für größere Bereiche muß sie erst integriert werden. Das Integral des totalen Differentials δW drückt sich dort als Integral über die einzige Variable X aus. V ist bei der Integration als konstant zu setzen. Es bleibt also gleich dem Ausgangswert $V = V_1$. W ist dann tatsächlich eine Funktion der einen Variabeln X. Man wird also nach Wahl W oder X als Integrationsvariable nehmen können. Ersteres wird zumeist einfacher sein. Zu beachten ist, daß zur Berechnung die Kenntnis von J als Funktion von X und V bekannt sein muß (Bildung von $\partial J/\partial V$). Die Größe f ist im übrigen für die Integration eine Konstante (siehe Abschnitt 3). Man wird also schreiben können:

Digitized by Google

$$\int_{W_1}^{W_2'} \delta W = W_2' - W_1 = \int_{W_1}^{W_2} d W \cdot \frac{f - \frac{1}{W}}{f - \frac{\partial J}{\partial V}} \qquad 8)$$

und erhält somit

$$\begin{array}{cccc} W_2' & - \quad W_1 & = F(W_2) & - F(W_1) \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ V = V_2 & V = V_1 & V = V_1 & V = V_1 \\ X = X_2 & X = X_1 & X = X_2 & X = X_1 . \end{array}$$

Hieraus läßt sich dann die äußere Widerstandsänderung $W_2 - W_1$ bei konstantem V aus der gemessenen $W_2' - W_1$ berechnen.

2. Widerstandsänderung bei konstantem Strom.

Ganz ähnliche Beziehungen erhält man nun auch, wenn man die Widerstandsänderungen bei konstanter Strombelastung ausrechnet. Man hat jetzt W und V als Funktion der unabhängigen Variabeln J und X aufzufassen. Da die Rechnung ganz analog, wie oben skizziert, verläuft, sei hier nur das Resultat angegeben. Es ist die gemessene Widerstandsänderung

$$\delta W = d W_J \frac{\frac{1}{f} - W}{\frac{1}{f} - \frac{\partial V}{\partial J}} . \qquad 9)$$

Hier bedeutet nun $d W_J$ die äußere Änderung bei konstant gehaltener Stromstärke. Führen wir noch für f gemäß 4) die Größe $\frac{dJ}{dV}$ ein, so schreiben sich 7) und 9) auch so

$$\delta W = d W_V \frac{\frac{dJ}{dV} - \frac{1}{W}}{\frac{dJ}{dV} - \frac{\partial J}{\partial V}} \qquad 7a)$$

$$\delta W = d W_J \frac{\frac{dV}{dJ} - W}{\frac{dV}{dJ} - \frac{\partial V}{\partial J}} . \qquad 9a)$$

Zwischen $d W_V$ und $d W_J$ besteht, da $\frac{\partial J}{\partial V} \frac{\partial V}{\partial J} = 1$, die einfache von der Meßanordnung unabhängige Beziehung

$$\frac{d W_V}{d W_J} = W \frac{\partial J}{\partial V} . \qquad 10)$$

Berührt die Widerstandsgerade die Charakteristik, d. h. ist $W = \frac{\partial V}{\partial J}$, so ist $d W_V = d W_J$; und je nachdem $W \gtrless \frac{\partial V}{\partial J}$, so haben wir $d W_V \gtrless d W_J$.

Im übrigen führt die Diskussion von 9) bzw. 9a) zu ähnlichen Resultaten wie bei 7) bzw. 7a). Es ist $\delta W \gtrless d W_J$, je nachdem $V/J \gtrless \partial V / \partial J$. W_J verhält sich gegenüber δW gerade umgekehrt wie $d W_V$. Aus Fig. 1, in welcher die Charakteristik für

Digitized by Google

den Fall, daß $V/J > \partial V/\partial J$, gezeichnet ist, ersieht man unmittelbar folgendes. Ändert sich die Charakteristik durch Zunahme des Parameters X, so wandert der Arbeitspunkt bei $V =$ konst. nach A, bei $J =$ konst. nach B und in Wirklichkeit vielleicht nach C. Die Neigung der durch A, B und C gezogenen Widerstandsgeraden gibt die entsprechenden neuen Widerstandswerte an. Die Widerstandsänderung ist um so größer, je stärker die Gerade aus der ursprünglichen Stellung α gedreht erscheint. Die Änderungen sind also sukzessive wachsend von B über C nach A. Der dreigestrichene Winkel ist größer als der eingestrichene und kleiner als der zweigestrichene, d. h. $dW_J < \delta W < dW_V$. Das Resultat ist, wie man sich leicht überzeugt, dasselbe, wenn Kurve K sich statt nach K' nach K'' bewegt hätte. Es ist aber nur gültig, wenn C zwischen A und B und nicht außerhalb dieser Punkte gelegen ist. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn sich J und V stets im entgegengesetzten Sinne ändern, d. h. wenn dJ/dV negativ ist. Von dieser Voraussetzung, die für gewöhnlich immer erfüllt sein wird, haben wir oben ja schon durch die Annahme, daß f negativ sei, Gebrauch gemacht. Hat man also einen Arbeitspunkt P gewählt, so finden alle Widerstandsbewegungen nur in dem schraffierten Teil der VJ-Ebene (Fig. 1) statt. Entsprechende Resultate findet man auch für den Fall, daß man die Charakteristik steiler als W einzeichnet.

Will man endliche Widerstandsänderungen bei konstantem J in Betracht ziehen, so hat man wiederum 9) bzw. 9a) zu integrieren. Man erhält

$$W_2' - W_1 = \int_{W_1}^{W_2} dW \frac{\frac{1}{f} - W}{\frac{1}{f} - \frac{\partial V}{\partial J}}, \qquad 11)$$

wobei die Stromstärke J für die Integration als konstant zu setzen ist ($J = J_1$).

Im übrigen braucht kaum besonders betont zu werden, daß alle hier gegebenen Beziehungen nicht nur für wahre, sondern auch für scheinbare Widerstandsänderungen gelten. Solche haben wir beim Auftreten von elektromotorischen Kräften (Thermokräften, Polarisation, Gleichrichtereffekten) vor uns. Die allgemeine Fassung des Widerstandsbegriffs als Verhältnis von Spannung und Strom läßt dies ohne weiteres einsehen.

3. Anwendungen.

Im folgenden sei nun zunächst die Anwendung auf die beiden wichtigen Meßmethoden der Wheatstoneschen Brücke und der Poggendorffschen Kompensationsmethode kurz behandelt. Es wird dabei dann auch die Bedeutung des Faktors f deutlicher hervortreten, da ja dieser den Zusammenhang der Beziehungen 6) bis 11) mit dem Meßverfahren angibt. In Fig. 2 und 3 seien die bekannten Schaltungen hier mit Elektronenröhren als nicht-ohmschen Widerständen, gezeichnet.

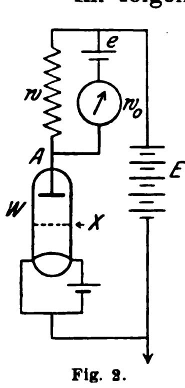


Fig. 2.

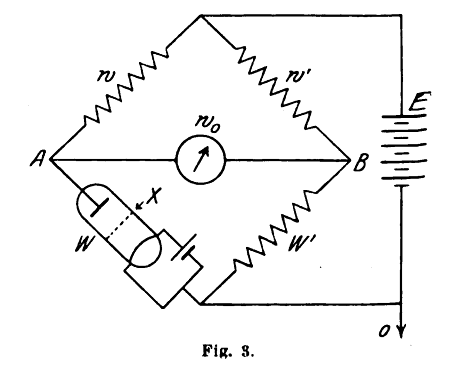


Fig. 3.

Wir wollen zunächst die Größe f für die Wheatstonesche Brücke ermitteln. Es sind die Widerstände w, w', W und W' abgeglichen. Nun werde die Gitter-

Digitized by Google

spannung X um dX geändert. Der Galvanometerausschlag werde durch eine entsprechende Änderung von W' wieder auf Null gebracht. Es ist nach dem ohmschen Gesetz

$$V + wJ = E. \tag{12)}$$

Da w und E beim Meßverfahren konstant sind, so folgt

$$f = \frac{dJ}{dV} = \frac{1}{w}. \tag{12a)}$$

Es ist zu beachten, daß f bei derselben Meßanordnung je nach dem ausgeübten Meßverfahren verschieden ist. Statt W' zu ändern, kann man beispielsweise mit w kompensieren. In diesem Falle bleibt das Potential am Punkt B und damit auch am Punkt A konstant; denn das Galvanometer wird ja stromlos gehalten. Demzufolge ist jetzt $f = \frac{dJ}{dV} = \infty$. Will man also erreichen, daß $\delta W = dW_V$, so darf nur mit w abgeglichen werden. Andererseits: will man $\delta W = dW_J$ erzielen, so wird man dies überhaupt nicht durch Variation eines Brückenwiderstands erreichen. Man wird in den Zweig W noch einen regulierbaren Widerstand zuschalten und diesen dann um so viel vergrößern als W abnimmt und umgekehrt. Das Potential an A wird auf diese Weise konstant gehalten, d. h. die Potentialdifferenz wJ und damit auch die Stromstärke J bleiben ungeändert.

Auch die Meßanordnung Fig. 3 kann in verschiedener Weise gehandhabt werden, und gibt es zu jedem der eben genannten Verfahren ein entsprechendes bei der Kompensationsschaltung. Dem ersten, durch Formeln 12) und 12a) gekennzeichneten entspricht es, wenn man mit Hilfe von e bei konstantem w abgleicht. Da f sich in beiden Fällen gleich ergibt, ist der Zusammenhang zwischen δW und dW genau derselbe (Formeln 7) und 9)). Gleicht man ferner mittels w bei konstantem e ab, so bleibt offenbar V konstant, da ja V stets gleich $E - e$. f ist also ∞ und dW_V gleich δW. Und schließlich kann man auch bei unveränderter Strombelastung messen, wenn man zu W einen regulierbaren Kompensationswiderstand hinzuschaltet. Dann ist $dW_J = \delta W$. Während also bei ohmschen Leitern alle Verfahren in gleicher Weise zum Ziele führen, muß im allgemeinen Fall sowohl Schaltung als Meßverfahren sorgfältig erwogen werden.

4. Widerstandsänderung bei konstanter Stromwärme.

Neben den Widerstandsänderungen bei konstanter Spannung bzw. Stromstärke spielt nun noch diejenige bei konstanter Stromwärme eine gewisse Rolle. Hat man einen von der Temperatur abhängigen Leiter, so findet bei jeder Änderung der Jouleschen Wärme auch eine Widerstandsänderung statt. Diese hat nichts zu tun mit der Widerstandsänderung, die durch die Änderung des äußeren Temperaturparameters herbeigeführt wird. Die beiden Einflüsse können indessen dadurch voneinander getrennt werden, daß man den von der Stromwärme abhängigen Parameter konstant hält bzw. nach der Widerstandsänderung bei konstantem Wattverbrauch frägt. Es erhebt sich nun wiederum die Frage nach dem Zusammenhang zwischen einer beliebig gemessenen Widerstandsänderung δW und derjenigen dW_E, die bei gleichbleibender Stromwärme durch Variation des äußeren Parameters X herbeigeführt wird.



Wir betrachten zu diesem Zwecke W als Funktion der unabhängigen E (elektrische Energie) und X. Die totale Änderung δW ist dann

$$\delta W = \frac{\partial W}{\partial E} dE + \frac{\partial W}{\partial X} dX. \qquad 13)$$

Da wir haben $E = JV$, so ist

$$dE = J dV + V dJ. \qquad 14)$$

Und unter Berücksichtigung von 4) ist auch

$$dE = (J + fV) dV. \qquad 14a)$$

13) geht daher über in

$$\delta W = \frac{\partial W}{\partial E}(J + fV) dV + \frac{\partial W}{\partial X} dX. \qquad 13a)$$

Dazu haben wir noch gemäß Gleichungen 1) und 4)

$$J^2 \delta W = (J - fV) dV. \qquad 15)$$

Durch Elimination von dV aus 13a) und 15) und Auflösung nach δW folgt

$$\delta W = \frac{\frac{\partial W}{\partial X} dX}{1 - \frac{J + fV}{J - fV} \cdot J^2 \cdot \frac{\partial W}{\partial E}}. \qquad 16)$$

Durch Einführung von $W = V/J$, von $J^2 = E/W$ und $\frac{\partial W}{\partial X} dX = dW_E$ geht dieser Ausdruck über in

$$\delta W = \frac{dW_E}{1 - \frac{\frac{1}{W} + f}{\frac{1}{W} - f} \cdot \frac{E}{W} \cdot \frac{\partial W}{\partial E}}. \qquad 16a)$$

Will man wieder, wie früher, statt der Größe $\frac{\partial W}{\partial E}$ die Charakteristik als bekannt voraussetzen, so hat man noch folgende Umwandlung vorzunehmen.

$$\frac{\partial W}{\partial E} = \frac{\partial\left(\frac{E}{J^2}\right)}{\partial E} = \frac{1}{J^2} - \frac{2E}{J^3}\frac{\partial J}{\partial E} = \frac{1}{J^2} - \frac{2W}{J}\frac{\partial J}{\partial E}. \qquad 17)$$

Denkt man sich J als Funktion von V und X bzw. von E/J und X ausgedrückt, so ist

$$\frac{\partial J}{\partial E} = \frac{\partial J}{\partial V}\left(\frac{1}{J} - \frac{E}{J^2}\frac{\partial J}{\partial E}\right)$$

und daher

$$\frac{\partial J}{\partial E} = \frac{\frac{1}{J}\frac{\partial J}{\partial V}}{1 + W\frac{\partial J}{\partial V}} = \frac{\frac{1}{J}}{\frac{\partial V}{\partial J} + W}. \qquad 18)$$

Digitized by Google

Dies in 17) eingesetzt, liefert

$$\frac{\partial E}{\partial W} = \frac{1}{J^2}\left(1 - 2\,WJ\,\frac{\frac{1}{J}}{\frac{\partial V}{\partial J} + W}\right)$$

$$= \frac{1}{J^2}\,\frac{\frac{\partial V}{\partial J} - W}{\frac{\partial V}{\partial J} + W}, \tag{19)}$$

sodaß 16a) übergeht in

$$\delta W = \frac{d\,W_E}{1 - \frac{\frac{1}{W} + f}{\frac{1}{W} - f}\cdot\frac{\frac{\partial V}{\partial J} - W}{\frac{\partial V}{\partial J} + W}}. \tag{20)}$$

Aus dieser Beziehung[1]) geht z. B. ohne weiteres hervor, daß im Falle eines ohmschen Leiters, d. h. wenn $W = \frac{\partial V}{\partial J}$ ist, totale und innere Widerstandsänderung wiederum zusammenfallen: $\delta W = d\,W_E$. Im übrigen aber kann $\delta W >$ oder $< d\,W_E$ sein. Dies hängt hier sowohl von der Charakteristik als dem Meßverfahren ab. Ist der Meßfaktor $f = -\frac{1}{W}$, so wird $\delta W = d\,W_E$. Auf die Wheatstonesche Brücke angewandt, würde dies heißen, daß man das erste, oben angegebene Meßverfahren anwenden müßte. Denn nach 12a) hat man dort den richtigen Meßfaktor. Man hat nur speziell $w = W$, d. h. alle vier Widerstände gleich zu wählen.

16a) bzw. 20) gilt aber nur für differentielle Änderungen. Ändert sich W um größere Beträge, dann bleibt die Stromwärme keineswegs konstant. Die Bedingung $f = -\frac{1}{W}$ ist ja, da f ein fester Meßfaktor ist, nur für den Anfangswert von W erfüllt. Will man daher mit konstanter Stromwärme arbeiten, so wird man mit W' auch noch w in passendem Verhältnis mit ändern müssen. Im allgemeinen Fall wird man Gleichungen 16a) und 20) in der Integralform anwenden. Als Integrations-

[1]) Dieser Ausdruck läßt sich auch auf andere Weise gewinnen. Herr E. Schrödinger war so freundlich, mich darauf hinzuweisen, daß man allgemein von der direkt ableitbaren allgemeinen Beziehung

$$\frac{1}{\delta W} = \frac{-fW}{1 - fW}\,\frac{1}{d\,W_V} + \frac{1}{1 - fW}\,\frac{1}{d\,W_J} \tag{a)}$$

ausgehen kann, einer Formel, die z. B. auch aus 7) und 8) durch Elimination von $\frac{\partial V}{\partial J}$ folgt. Wählt man nun δW so, daß es konstanter Stromwärme entspricht, daß also $\delta W = d\,W_E$, so ist der entsprechende Meßfaktor $f = -\frac{1}{W}$. Das folgt aus $JV =$ const. bzw. aus $J\,d\,V + V\,d\,J = 0$. Setzen wir dies in a) ein, so erhält man

$$\frac{1}{\delta\,W_E} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{d\,W_V} + \frac{1}{d\,W_J}\right). \tag{b)}$$

Entnimmt man nun die Werte von $d\,W_V$ und $d\,W_J$ aus 7) und 9), so geht b) in Gleichung 20) über. Beziehung b) dürfte von Wert sein, da sie aus zwei Messungen ($d\,W_V$ und $d\,W_J$) höchst einfach $d\,W_E$ berechnen läßt.

Digitized by Google

variable kann man wieder W oder X wählen. E ist dabei als konstanter Parameter anzusehen.

Wir wollen zur Erläuterung noch das praktisch wichtige Beispiel eines ohmschen Leiters kurz behandeln. Ein solcher Widerstand befolgt, sofern er temperaturabhängig ist, nur dann das ohmsche Gesetz, wenn man ihn bei konstanter Stromwärme betrachtet[1]). Wir wollen nun die wahre Widerstandsänderung bei unveränderlicher Joulescher Wärme aus der gemessenen δW berechnen und haben zu dem Zweck die Charakteristik eines ohmschen Leiters abzuleiten.

Wir haben unter der Voraussetzung, daß W linear von der Temperatur abhängt,

$$W = W_0 (1 + \alpha t'). \tag{21}$$

t' ist die tatsächlich vom Leiter angenommene Temperatur. Sie ist um einen gewissen, von der Stromwärme herrührenden Betrag höher als die Temperatur t der Umgebung. t ist der äußere Parameter (X). α ist $+$ oder $-$ einzusetzen, je nachdem man einen metallischen oder einen elektrolytischen Leiter betrachtet. Im stationären Zustand wird so viel Wärme an die Umgebung abgegeben, als im Leiter erzeugt wird. Unter Zugrundelegung des Newtonschen Abkühlungsgesetzes ist somit

$$E = k(t' - t). \tag{22}$$

Durch Elimination von t' aus 21) und 22) folgt

$$W = W_0 \left(1 + \alpha t + \frac{\alpha E}{k}\right). \tag{23}$$

Wenn man hierin für W und E ihre Werte V/J und VJ einsetzt, so erhält man

$$V = \frac{J W_0 (1 + \alpha t)}{1 - \frac{\alpha W_0}{k} J^2}. \tag{24}$$

Dies ist somit die tatsächlich für einen „ohmschen" Leiter geltende Charakteristik. Proportionalität zwischen V und J besteht nur, solange $\frac{\alpha W_0}{k} J^2 \ll 1$. Für einen metallischen Leiter ist Stromsättigung zu erwarten, da J nicht über den Wert $J^2 = \frac{k}{\alpha W_0}$ hinauswachsen kann. Ist die Temperaturabhängigkeit nicht, wie in 21) angenommen, linear, so wird die Charakteristik entsprechend eine andere Form haben.

Die Beziehung zwischen δW und $d W_E$ erhalten wir z. B. nach Gleichung 16a), wenn wir den aus 23) gebildeten Wert $\frac{\partial W}{\partial E}$ dort einsetzen. Da $\frac{\partial W}{\partial E} = \frac{\alpha W_0}{k}$, so folgt für den ohmschen Leiter

$$\delta W = \frac{d W_E}{1 - \frac{\frac{1}{W} + f}{\frac{1}{W} - f} \cdot \frac{E}{W} \cdot \frac{\alpha W_0}{k}}. \tag{25}$$

Dies läßt sich geschlossen integrieren. Wir wollen uns indessen auf den Fall beschränken, daß der Einfluß der Stromwärme klein ist. Dann ist in erster Annäherung

[1]) E. Lecher: Über die Prüfung des Ohmschen Gesetzes bei hohen Strombelastungen. *Sitzungsber. d. Wiener Akad. 116. IIa. S. 49. 1907.*

Digitized by Google

$$\delta W = dW\left(1 + \frac{\frac{1}{W} + f}{\frac{1}{W} - f} \cdot \frac{E}{W} \cdot \frac{\alpha W_0}{k}\right), \tag{26}$$

was man auch schreiben kann

$$\delta W = dW\left[1 + \frac{E\,\alpha W_0}{k}\left(\frac{1}{W} + \frac{2f}{1 - fW}\right)\right]. \tag{26a}$$

Dies führt unmittelbar zum Integral

$$W_2' - W_1 = W_2 - W_1 + \frac{E_1\,\alpha\,W_0}{k}\log\frac{W_2}{(1 - fW_2)^2}\cdot\frac{(1 - fW_1)^2}{W_1}. \tag{27}$$

E_1 ist der konstante, zu W_1 zugehörige Wert von JV.

Führt man $W_2' - W_1 = \Delta W_1'$ und $W_2 - W_1 = \Delta W_1$ ein, so geht 27) in den Ausdruck über

$$\Delta W_1' = \Delta W_1 + \frac{E_1\,\alpha\,W_0}{k}\log\frac{1 + \frac{\Delta W_1}{W_1}}{\left(1 + \frac{f}{1 - fW_1}\Delta W_1\right)^2}. \tag{28}$$

Da diese Gleichung zur Berechnung des ΔW_1 aus $\Delta W_1'$ recht unbequem ist, wird man sich bei kleinen $\Delta W_1'$ nach Möglichkeit der differentiellen Form 26a) bedienen. Immerhin läßt sich 28) noch wesentlich vereinfachen, wenn man $f = 0$ hat, d. h. ein Meßverfahren mit konstantem Strom anwendet. Man wird sich dies etwa bei Messungen mit dem Widerstandsbolometor, für das ja vorstehende Ausführungen ohne weiteres anwendbar sind, zunutze machen[1]).

5. Meßempfindlichkeit der Methoden.

Während Wheatstonesche Brücke und Kompensationsmethode bezüglich des Verhältnisses von δW zu dW völlig korrespondierende Verfahren aufweisen, sind sie in Hinsicht ihrer Empfindlichkeit doch verschieden voneinander. Die Frage der Meßempfindlichkeit bei ohmschen Widerständen ist bereits ausgiebig behandelt[2]). Wir wollen hier nur kurz andeuten, wie man den Verhältnissen bei nicht-ohmschen Leitern Rechnung tragen kann. Zunächst wird man allgemein die Stromverhältnisse nach den Kirchhoffschen Regeln ausrechnen, die eintreten, wenn die Kompensation durch eine Widerstandsänderung δW gestört wird. Für die Wheatstonesche Brücke findet man z. B., daß der Galvanometerstrom $d i_0$ den Wert hat

$$d i_0 = \frac{w\,E\,\delta W}{(w + W)\left[W(w + w') + w_0(w + W)\right]}. \tag{29}$$

δW setzt sich nun bei nicht-ohmschen Leitern aus dem inneren und dem äußeren Anteil zusammen. Und zwar ist der erstere Funktion der Meßwiderstände und der letztere abhängig von der Änderung des äußeren Parameters X. Als Meßempfind-

[1]) Über den Einfluß der Stromwärme bei Bolometermessungen siehe etwa: E. Warburg, G. Leithäuser u. Ed. Johansen, *Ann. d. Physik* **24**. *S. 25. 1907.* E. Warburg u. C. Müller, *Verhandl. d. Deutsch. Physik. Gesellsch.* **18**, *S. 245. 1916.*

[2]) W. Jaeger: *Elektrische Meßtechnik S. 301. 1917.*

Digitized by Google

lichkeit muß nun offenbar die Stromänderung $d\,i_0$ gelten, die bei Variation $d\,X$ des äußeren Parameters eintritt. Es ist gemäß Gleichung 6)

$$\frac{d\,i_0}{d\,X} = \frac{w\,E}{(w+W)\left[W(w+w')+w_0\,(w+W)\right]} \cdot \frac{f-\frac{1}{W}}{f-\frac{\partial J}{\partial V}} \cdot \left(\frac{\partial W}{\partial X}\right)_V . \tag{29a}$$

Natürlich ließe sich ebensogut die Beziehung 9) in 29) einsetzen, wodurch die Darstellungsform des Faktors von $d\,X$ anders, aber für $\frac{d\,i_0}{d\,X}$ derselbe Wert resultieren würde.

Bemerkenswert ist es nun, daß der Faktor f hier ein ganz anderer ist, wie bei den oben erwähnten Meßverfahren. Dort wurde der Brückenstrom stets auf null kompensiert; hier wird nun der Galvanometerausschlag in der Brücke gemessen. Die Widerstände bleiben mit Ausnahme von W sämtlich ungeändert. Unter Benützung der Kirchhoffschen Sätze findet man nach einiger Ausrechnung J in Abhängigkeit von V und damit $f = \frac{d\,J}{d\,V}$. Es ergibt sich

$$-f = \frac{1}{w} + \frac{1}{w_0 + \frac{w'\,W'}{w'+W'}} . \tag{30}$$

Die Kenntnis von f ist notwendig, um den Einfluß der Widerstände auf die Empfindlichkeit beurteilen zu können. Ist $\partial J/\partial V > 1/W$, so ist der zweite Bruch in 29a) kleiner als 1 und nähert sich um so mehr der 1, je größer f gemacht wird. Wenn aber $\partial J/\partial V < 1/W$, so ist es günstig, f klein zu wählen.

Die Frage, ob die Empfindlichkeit $\frac{d\,i_0}{d\,X}$ bei einem nicht-ohmschen Leiter größer oder kleiner sei, als bei einem ohmschen derselben Größe, kann ohne Rechnung beantwortet werden. Wenn die äußere Widerstandsabnahme durch die innere unterstützt wird, dann ist die Empfindlichkeit größer. W muß also mit der Spannung abnehmen. Wächst hingegen W mit sinkender Spannung, so ist die Empfindlichkeit im Falle des ohmschen Widerstands größer. Der erste Fall wird durch $\frac{1}{W} > \frac{\partial J}{\partial V}$ und der zweite durch $\frac{1}{W} < \frac{\partial J}{\partial V}$ charakterisiert.

Formel 29a) kann nun nicht nur zur Beurteilung der Meßempfindlichkeit, sondern auch zur Berechnung von $d\,W$ aus $\delta\,W$ benützt werden, sofern man das Verfahren anwendet, den Galvanometerausschlag nicht auf null zu kompensieren, sondern direkt zu messen. Wenn man ein empfindliches Galvanometer verwendet, d. h. $d\,i_0$ klein gegenüber den anderen Strömen in der Anordnung hält, kann Formel 29a) ohne weiteres in ihrer differentiellen Form angewendet werden. Sie wird auf alle Fälle zur Diskussion der günstigsten Widerstandsverhältnisse herangezogen werden müssen. Als praktisches Beispiel seien gerade die Elektronenröhren genannt. Ändert man hier den Parameter X etwa dadurch, daß man auf das Gitter einen zu verstärkenden Gleichstrom (etwa einen Ionisierungsstrom) leitet, so kann der verstärkte Strom mit Hilfe des Brückengalvanometers beobachtet werden.

Wir geben der Vollständigkeit halber noch die Empfindlichkeitsformel für die Kompensationsschaltung. Hier ist


Digitized by Google

$$d i_0' = \frac{w E \, \delta W}{(w + W)\,[w W + w_0 (w + W)]} \tag{31}$$

bzw.

$$\frac{d i_0'}{d X} = \frac{w E}{(w + W)\,[w W + w_0 (w + W)]} \cdot \frac{f' - \frac{1}{W}}{f' - \frac{\partial J}{\partial V}} \left(\frac{\partial W}{\partial X}\right)_V . \tag{31a}$$

Ein Vergleich der Empfindlichkeiten bei Schaltung Fig. 3 und Fig. 2 ergibt sich durch Bildung des Quotienten $\frac{d i_0}{d i_0'}$. Im Falle eines ohmschen Leiters findet man ohne weiteres die bekannten Resultate[1], u. a. daß $\frac{d i_0}{d i_0'}$ zwischen $1/2$ und 1 liegt. Jetzt muß jedoch erst noch f' bestimmt werden. Man erhält

$$E (w + w_0) - e w = J w w_0 + V (w + w_0) \tag{32}$$

und hieraus

$$\frac{d J}{d f} = f' = -\frac{1}{w} - \frac{1}{w_0} . \tag{32a}$$

Ein Vergleich mit 30) zeigt, daß $|f'| > |f|$.

Es läßt sich nun unschwer angeben, ob bei einem nicht-ohmschen Leiter das Empfindlichkeitsverhältnis $\frac{d i_0}{d i_0'}$ größer oder kleiner ist, als bei einem ohmschen Widerstand. Ist die Charakteristik steiler als die Widerstandsgerade, d. h. ist $\frac{\partial J}{\partial V} > \frac{1}{W}$ dann wird der zweite Faktor in 31a) größer sein als in 29a). Das Empfindlichkeitsverhältnis ist, da dann $\frac{f' - \frac{1}{W}}{f' - \frac{\partial J}{\partial V}} > \frac{f - \frac{1}{W}}{f - \frac{\partial J}{\partial V}}$, herabgesetzt. Umgekehrt wird bei $\frac{\partial J}{\partial V} < \frac{1}{W}$ das Verhältnis bei einem nicht-ohmschen Leiter günstiger ausfallen. Will man also den Nachteil, den die Wheatstonesche Brücke infolge kleinerer Empfindlichkeit gegenüber der Kompensationsmethode besitzt, möglichst vermindern, so wird man am besten auf einem möglichst flachen Teil der Charakteristik arbeiten. Dies wird um so mehr geboten sein, als dann nicht nur das Verhältnis $\frac{d i_0}{d i_0'}$, sondern auch der absolute Betrag von $d i_0$ (Gleichung 29a) verbessert wird.

Nach dem Gesagten dürfte es nun nicht schwer halten, die Beziehungen auch für andere Meßanordnungen abzuleiten. Etwas komplizierter würden die Verhältnisse, wenn in einer Schaltung mehrere nicht-ohmsche Widerstände vorhanden wären. Dieser Fall tritt z. B. ein, wenn in der Wheatstoneschen Brücke sowohl W als W' Elektronenröhren oder Selenzellen sein würden. Wir wollen indessen von solchen Verallgemeinerungen des Problems absehen, da es uns hier mehr daran lag, die Grundlagen bei der Messung nicht-ohmscher Widerstände klarzulegen.

[1] W. Jaeger, l. c.

Digitized by Google

Referate.

Die Stachsche „stereographische Darstellung“ tektonischer Formen.

Über eine hübsche Einrichtung zur einfachen und anschaulichen räumlichen (oder, wie der Erfinder E. Stach, Geolog an der Preuß. Geolog. Landesanstalt, sagt, „stereographischen“) Darstellung tektonischer Formen ist auch hier kurz zu berichten, weil sie nicht nur dem Zweck maßstabgetreuer Würfel- oder anderer Block-Diagramme für geologische und markscheiderische Aufgaben, sondern auch mancherlei Zwecken des Ingenieurs und Architekten dienen kann. Es handelt sich um eine der sonst auch als axonometrische Projektion bezeichneten Darstellungsweisen, wobei die drei Achsenrichtungen Winkel von je 120° miteinander bilden und in allen drei Richtungen derselbe Längenmaßstab angewandt wird.

Für die Praxis dieser anschaulichen Darstellungsmethode kommt das Stachsche „Stereopapier“ (mit drei Liniensystemen, die die Zeichnungsebene in kleine gleichseitige Dreiecke zerlegen) und der „Stereotransporteur“ (D.R.P. 379984) in Betracht, deren Vertrieb die Werkstätte für geodätische Instrumente F. W. Breithaupt in Cassel übernommen hat; diese versendet auch eine kurze „Anleitung“ zum Gebrauch dieser beiden Zeichenelemente, auf die hier verwiesen werden muß.

Auch in Beziehung auf die methodische Erläuterung der Darstellungsweise kann hier nur hingewiesen werden auf einige Aufsätze des Urhebers: „Die stereographische“ (s. ob.) „Darstellung tektonischer Formen in Würfeldiagrammen auf Stereo-Millimeterpapier“ (S.-A. aus der *Zeitschr. dtsch. geolog. Gesellsch.* **74.** *S. 277—309. 1922*); für eine hübsche Anwendung z. B. „Horizontalverschiebungen und Sprünge im östl. Ruhrkohlengebiet“, *„Glückauf“, berg- und hüttenmännische Zeitschr., Jahrg. 1923. Nr. 28. S. 669—678.*

Nicht unerwähnt darf bleiben, daß die Stachsche Methode, wie schon oben angedeutet, nicht neu ist. Es sind außer der ältern Literatur der darstellenden Geometrie und der axonometrischen Projektion (z. B. von deutschen Schriften C. Th. Meyer und M. H. Meyer, Lehrbuch der axonometrischen Proj., Leipzig 1855 ff., die Lehrbücher von Pohlke, Wiener u. a.) auch fast alle neuern Lehrbücher der darstellenden Geometrie anzuführen, so z. B. das schöne Werk von E. Müller-Wien (Bd. II, 1916); für die spezielle von Stach verwendete Art der axonometrischen Methode (sonst wohl auch als isometrische Projektion bezeichnet; der Stachsche Ausdruck „stereographisch“ sollte jedenfalls vermieden werden, weil er bekanntlich in der Lehre der Abbildung der Kugeloberfläche auf die Ebene eine freilich im Worte selbst nicht begründete Bedeutung erlangt hat) ist ferner zu nennen die Schrift von R. Grimshaw, Leitfaden für das isometrische Skizzieren .... mit besonderem Bezug auf die isometrischen Skizzenblöcke, Hannover, Jänecke 1902. In dieser Schrift ist als „Grimshaw-Lineatur“ ein isometrisch vorgedrucktes Liniennetz (Jäneckes Verlag) empfohlen, das sich von dem Stachschen Stereopapier nur dadurch unterscheidet, daß es außer den 60°- (120°-) Liniennetzen auch noch ein Quadratnetz enthält (S. 50 der angeführten Schrift); auch ein isometrischer Transporteur (nach Meyer, s. oben) ist angegeben (S. 29 ebend.) *Hammer.*

Methoden zur Ausmessung von Schallfeldern.

Von Helmut Sell. *Wissensch. Veröff. a. d. Siemens-Konzern* **2.** *S. 353. 1922.*

Ein zur Ausmessung eines Schallfeldes geeigneter Empfänger muß gegen die Dimensionen des Schallfeldes kleine Abmessungen besitzen, da er sonst nicht Lokalwerte, sondern Integralwerte liefert und außerdem das Schallfeld deformiert. Er darf ferner dem Schallfeld nur wenig Energie entziehen, da anderenfalls Rückwirkungen auf das Schallfeld eintreten. Ein diesen Bedingungen genügender Empfänger ist z. B. eine feine Düse, welche durch eine Rohrleitung mit einem schalldicht abgeschützten Telephon verbunden ist. An Stelle der Düse kann auch eine dünne, über ein geeignet geformtes Ansatzstück gespannte Membran benutzt werden. Die im Magnetsystem des Telephons induzierten Ströme werden durch einen Mehrfach-Niederfrequenzverstärker, dessen letzte Röhre als Gleichrichter geschaltet ist, vervielfacht und gleichgerichtet und wirken auf ein Dreh-


Digitized by Google

spulgalvanometer ein, dessen Ausschlag im Ruhezustande durch eine Kompensation auf Null gebracht wird. Zur Erzielung größerer Empfindlichkeit sind Telephon und Verstärker auf die Frequenz des zu untersuchenden Schallfeldes abgestimmt.

Die Apparatur kann nach Eichung auf relative Schallintensitäten direkt zur Ausmessung von Schallfeldern benutzt werden.

Die Normaltonquelle besteht aus einer beiderseitig eingespannten, durch eine Eisenscheibe beschwerten Feder, welche durch ein dahinter befindliches Magnetsystem zu Schwingungen angeregt werden kann. Die Eisenscheibe trägt einen Quarzfaden, welcher, bei geeigneter Beleuchtung durch ein Mikroskop beobachtet, die Amplitude der Scheibe zu messen, also (bei gegebener Frequenz) die Schallenergie zu reproduzieren gestattet. Zur Eichung des Empfängers auf Amplituden stellt man die Düse der schwingenden Eisenscheibe in verschiedenem Abstand gegenüber. Bei Ausmessung eines Schallfeldes lassen sich alsdann die Galvanometerausschläge in mm Luftamplitude umrechnen.

Als Anwendungsbeispiel wurde das Ausbreitungsgesetz des von einer nahezu punktförmigen Quelle ausgehenden Schalles untersucht. Als solche dient eine kleine, über ein geeignetes Ansatzstück gespannte Gummimembran, die durch Luftkoppelung (Schlauchleitung) von einem Telephon aus erregt wird, welches an einen Tonsender angeschlossen ist. Der Versuchsraum war kreisförmig und zur Vermeidung von Reflexionen durch Stoffbahnen begrenzt; aus dem gleichen Grunde wurden außer der Versuchsapparatur alle festen Gegenstände daraus entfernt. Die Verschiebung des Empfängers gegen den Sender in tangentialer Richtung geschah durch Drehung des letzteren, die Verschiebung in radialer Richtung durch einen Schlitten, welcher auf elektrischem Wege (durch eine geeignet konstruierte Widerstandsbrücke) eingestellt werden konnte. Praktischer bezüglich der Schnelligkeit des Arbeitens erwies sich die Einstellung des Schlittens mit Hilfe einer Zahnstange. Ein Bild des auf diese Weise ausgemessenen Schallfeldes ist der Abhandlung beigefügt.

Mit Hilfe dieser Methode lassen sich auch Schallfelder von Telephonen bestimmen, die zur Ermittlung des elektrisch-akustischen Wirkungsgrades dienen können. Da außerhalb der Eigenschwingung der Membran die gesamte Schallenergie durch die Austrittsöffnung des Telephons hinausreflektiert wird, so genügt es, die Messung längs eines beliebigen Durchmessers der Öffnung auszuführen, und zwar in einem möglichst geringen, konstanten Abstand von der Blende, da dann die Schallenergie außerhalb der Öffnung verschwindend klein ist. Einige für verschiedene Blendenöffnungen ausgeführte Messungen sind in graphischer Darstellung beigegeben. *Zickner.*

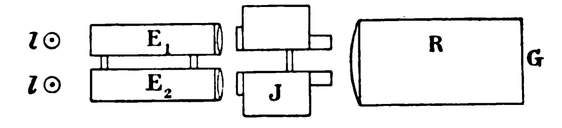
Apparat zur Prüfung der Parallelität der optischen Achsen der „Jumelles".

Von Jules Raibaud. *Revue d'Optique 1. S. 481. 1922.*

Wir haben im Deutschen keine einheitliche Bezeichnung für „Jumelles". Wir sprechen von Theatergläsern, Ferngläsern, Doppelfernrohren, Binokeln usf. „Jumelles" begreifen alle für zweiäugiges Sehen eingerichtete Fernrohre. Bei diesen ist es von großer Wichtigkeit, daß die optischen Achsen der beiden miteinander verbundenen Fernrohre miteinander parallel sind, da sonst die beiden von den beiden Augen empfangenen Bilder nicht zusammenfallen. Der Verf. gibt eine Methode an, diese Parallelität zu prüfen.

Von verschiedenen, dem Zweck dienenden Anordnungen, welche beschrieben werden, zieht der Verf. die in Figur 1 schematisch dargestellte vor.

Zwei Kollimatoren E_1 und E_2 sind parallel zueinander und in einer Entfernung voneinander aufgestellt, die gleich der Entfernung des zu prüfenden Doppelfernrohres ist. In den Brennpunktsebenen der Kollimatorobjektive



befindet sich je ein Fadenkreuz, welches durch eine 10-Kerzenlampe l beleuchtet wird. Die beiden Fernrohre des zu prüfenden Instrumentes J werden auf Unendlich eingestellt. Auf sie folgt eine Kammer R mit einer plankonvexen Linse und in deren Brennpunktsebene ist eine Mattscheibe aufgestellt, die entweder auch ein Fadenkreuz enthält oder ein Quadratnetz oder auch zwei senkrecht zueinander gerichtete Millimeterteilungen. Sind die optischen Achsen der beiden Rohre


Digitized by Google

des zu prüfenden Doppelglases *J* untereinander parallel, so müssen die Bilder der beiden Fadenkreuze der Kollimatorrohre E_1 und E_2 auf der Mitte der Mattscheibe *G* zusammenfallen. Ihre Abweichung davon zeigt Größe und Richtung der mangelnden Parallelität der optischen Achsen des Doppelglases an.

Der Verf. beschreibt weiter die Anbringung eines um 45 Grad gegen die Achse geneigten, von vorn versilberten Spiegels innerhalb der Kammer *B*, um das Bild auf die Seite zu lenken und es so einer bequemeren Beobachtung zugänglich zu machen. Er wendet sogar noch einen oder zwei weitere Spiegel zu gleichem Zweck an oder einen außen vor die Mattscheibe *G* gesetzten Spiegel. Das hat natürlich mit dem Prinzip des Apparates nichts zu tun.

Was die Abmessungen des Apparates betrifft, so führt der Verf. an, daß die Entfernung der Achsen der Okulare eines Prismenglases — auf die Prüfung solcher ist es wesentlich abgesehen — sich zwischen 72 und 86 mm bewege, also im Mittel 64 mm betrage, während man für die Entfernung der Objektivachsen das Doppelte, also 128 mm zu rechnen habe. Diese mittlere Entfernung müssen also auch die beiden Kollimatorachsen E_1 und E_2 voneinander zulassen, während die Linse in den Kammern mindestens einen Durchmesser von 100 mm besitzen muß, wenn man auch bei der größten Entfernung der Okulare voneinander nicht die Linse ganz an ihrem Rande in Anspruch nehmen wolle.

Es scheint ja zunächst, daß diese Projektionslinse möglichst vollkommen in bezug auf die Bilderzeugung beschaffen sein müsse. Das ist nach der Erklärung des Verf. nicht erforderlich. Verzerrung und Bildfeldkrümmung kommen nicht in Betracht, denn es wird nur ein ganz kleiner Teil des Bildfeldes benutzt. Achromatisch braucht die Linse auch nicht zu sein, denn man kann sich mit Einschaltung monochromatischer Filter vor den Beleuchtungslampen helfen. Und was die sphärische Aberration anbetrifft, so ist diese deshalb nur gering, weil von der Linse nur ein Ring mit dem mittleren Durchmesser von 64 mm und geringer Breite in Anspruch genommen wird. Es genügt demgemäß eine plankonvexe Linse, deren konnexe Fläche nach außen gerichtet ist, in welcher Stellung die sphärische Aberration für parallel auffallende Strahlen bekanntlich nur gering ist. Dies wird vom Verf. formel- und ziffernmäßig nachgewiesen.

Welche Winkelabweichungen der beiden optischen Achsen des zu prüfenden Doppelglases noch deutlich auf der Mattscheibe *G* erkennbar sind, hängt von der Brennweite der Kammerlinse ab, die Vergrößerung der Fadenbreite der Kollimatorfadenkreuze von dem Verhältnis der Brennweiten der Kollimatorobjektive zu derjenigen der Kammerlinse. Unter den vom Verf. für diese Verhältnisse gemachten verschiedenen Voraussetzungen kommt er zu verschiedenen Zahlen. Angeführt sei nur als Brennweite der Kollimatorobjektive 270, also diejenige der Kammerlinse 500 mm.

Zur Justierung der Kollimatorrohre setzte der Verf. vor dieselben ein Okular, stellte das Fernrohr auf Unendlich ein und brachte das Fadenkreuz dann in die Bildebene. Zu dem Zweck ist es im Kollimatorrohr verschiebbar, außerdem kann es um die Achse gedreht und in zwei aufeinander senkrechten Ebenen verschoben werden, um den Schnittpunkt in die optische Achse zu bringen.

Die matte Scheibe der Aufnahmekamera wird in die Bildebene der Linse gebracht durch Einstellung eines entfernten Gegenstandes. Durch Abdeckung der übrigen Teile der plankonvexen Linse wird dabei nur ein Ring von 64 mm mittlerem Durchmesser und 10 mm Breite benutzt.

Um sich von der vollkommenen Justierung des Apparates zu überzeugen, benutzt der Verf. zwei miteinander im Abstand der Okulare (64 mm) verbundene, auf Unendlich eingestellte Fernrohre. Der Übergang zu dem größeren Abstand der Objektive (128 mm) wird dabei bewirkt durch zwei geneigt zur optischen Achse aufgestellte dicke planparallele Glasplatten, oder durch Brechung, oder durch Reflexion in zwei rhomboedrischen Prismen.

Zum Schluß führt der Verf. an, daß bereits eine Reihe von Konstruktionen zur Prüfung der Parallelität der optischen Achsen von Doppelgläsern vorhanden sind, die mehr oder weniger mit seiner Anordnung übereinstimmen. Vollkommen scheint dieses bei einem Apparat von Dysdale zu sein. Zeiss benutzt anstatt der Aufnahmekamera ein Doppelfernrohr. Bei dem Prüfungsapparat des englischen Munitionsministeriums ist nur ein Kollimatorrohr vorhanden, welches in die beiden Stellungen vor den Objektiven des zu prüfenden Doppelrohres verschoben werden kann. Dasselbe ist der Fall bei einem Prüfungsapparat, den K. S. Clay angegeben hat. *H. Krüss.*


Digitized by Google

Astronomische photographische Photometrie und der Purkinje-Effekt.

Von F. E. Ross. *Astrophys. Journ.* **56.** *S. 345. 1921.*

Der Verf. bringt noch ausführliches Material zusammen zu seinen früheren Ausführungen über denselben Gegenstand[1]). Er erinnert daran, daß in der astronomisch-photographischen Photometrie vier Methoden angewandt werden, nämlich die Messung der Durchmesser der Sternbilder, die Messung des Schwärzungsgrades bei extrafokalen Aufnahmen, die Vergleichung der Schwärzung und der Größe mit einer Stufenfolge von Bildern bekannter Größen und die Messung der Durchlässigkeit auf thermoelektrischem Wege.

Überall spielt die Expositionszeit und die Wellenlänge des auffallenden Lichtes eine große Rolle. Bei längerer Expositionszeit wird die Größe des geschwärzten Teiles stärker vergrößert als bei kürzerer Expositionszeit. Infolge mehrfacher Reflexion, Brechung und Zerstreuung in der photographischen Schicht und der sie tragenden Glasplatte wird das Licht von seiner ursprünglichen Richtung seitlich abgelenkt. Das wirkliche Bild eines Sternes ist immer größer als das geometrische. Der Verfasser gibt Mitteilungen über verschiedene dahingehende Versuche, um diese Ausbreitung des Bildes zu studieren. Er photographiert z. B. einen Satz von 9 runden Öffnungen in Durchmessern von 0,16 bis 2,3 mm bei Expositionszeiten von 1 Sekunde bis 32 Minuten. Dabei zeigt sich z. B., daß die Ausbreitung des Sternbildes auf der Platte um ein Drittel wächst bei dreihundertfacher Expositionszeit. Die Art der photographischen Platte ist ebenfalls vom Einfluß auf die Ausbreitung des Bildes, ebenso die Art des zum Photographieren benutzten Fernrohres, so daß für exakte Ausmessungen photographischer Sternbilder große Vorsicht und Beachtung aller in Betracht kommenden Umstände sehr am Platze ist.

Verhältnismäßig kurz handelt der Verf. die Dichtigkeitsmessungen ab, weist aber nach, daß diese einer weit größeren Genauigkeit fähig sind, als die Messungen der Größen der Sternbilder.

Über den photographischen Purkinje-Effekt, d. h. die Abhängigkeit der Bildausbreitungen von der Wellenlänge des wirksamen Lichtes gibt der Verf. eine breite historische Darstellung. Nach derselben haben Abney und J. Precht unabhängig voneinander gleichzeitig diese Erscheinung entdeckt. Weiter werden die Arbeiten von Leinebach, Parkhurst und Ives herangezogen.

H. Krüss.

Röhrengalvanometer.

Von Karl Wilhelm Hausser, Robert Jaeger *u.* Wilhelm Vahle. *Wissensch. Veröff. a. d. Siemens-Konzern* **2.** *S. 325—330. 1922.*

Der Gedanke, eine normale Verstärkerröhre in Verbindung mit einem im Anodenkreise liegenden Meßinstrument als Spannungsmesser zu benutzen, ist seit langem bekannt. Eine derartige Schaltung nutzt mit Hilfe einer geeigneten Gittervorspannung beispielsweise den oberen Knick in der Röhrencharakteristik aus. Die zu messende Spannung, die z. B. an den Enden eines stromdurchflossenen Widerstandes abgenommen ist, wird zwischen Gitter und Kathode der Röhre geschaltet. Infolge der Ionisierung der Gasreste in der Röhre sowie zum Teil infolge eines lichtelektrischen Effektes treten jedoch Gitterströme auf; d. h. zu dem Widerstand, dessen Klemmenspannung untersucht werden soll, erscheint der zeitlich variable Widerstand der Gasstrecke Gitter—Kathode parallel geschaltet, wodurch die Messung kompliziert wird. Die Verfasser vermeiden das Auftreten von Gitterströmen dadurch, daß sie mit der Anodenspannung unter die Ionisierungsspannung der Restgase heruntergehen. Eine gewöhnliche Röhre, deren Zuführungen dicht nebeneinander durch Quetschfuß und Sockel laufen, genügt allerdings nicht den hierbei auftretenden isolationstechnischen Anforderungen. Es wurde daher eine Spezialröhre konstruiert dessen Gitterzuleitung mit besonderer Sorgfalt isoliert war. Wie die aufgenommenen Anoden- und Gitterkennlinien zeigen, ist ferner ein großer Durchgriff günstig. Infolge der niedrigen Anodenpotentiale von 7—8 Volt erweist sich auch ein Raumladegitter als zweckmäßig. Da die Steilheit der Anodencharakteristik mit der Intensität des Anodenstromes wächst, so bietet das Arbeiten der Röhre am oberen Knick der Charakteristik bei kleinsten Meßströmen den Vorteil größter Empfindlichkeit. Diese beträgt etwa $5 \cdot 10^{-13}$ A pro Skalenteil.

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* **42.** *S. 373. 1922.*


Digitized by Google

Nach dem auseinandergesetzten Prinzip haben die Verfasser ein Röntgendosimeter gebaut. Es stellt eine Kombination einer Ionisierungskammer in einem Wasserphantom mit dem Röhrengalvanometer dar. Röhre und Meßwiderstand sind von der übrigen Apparatur getrennt in einem durch Blei geschützten Kästchen untergebracht, Batterien, Widerstände und Meßinstrument befinden sich in einem fahrbaren Tischchen. Wasserphantom mit Ionisierungskammer und Röhre sind durch ein hochisolierendes Kabel verbunden. Der Anschluß des Apparatetischchens an die Röhre geschieht ebenfalls durch ein Kabel. Die Trennung von Röhre und Meßinstrument erfolgt wegen der für den Ablesenden mit der Röntgenbestrahlung verbundenen Gefahr.

Als Anwendungsbeispiel des Gerätes ist eine Kurve gegeben, welche die Röntgenstrahlendosis im Wasserphantom in Abhängigkeit von der Tiefe der Ionisationskammer unter der Wasseroberfläche darstellt. *Zickner.*

Röhrenvoltmeter und Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung.

Von W. Schottky. *Wissensch. Veröff. a. d. Siemens-Konzern* **2.** *S. 110—125. 1921.*

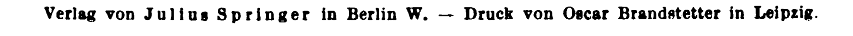
Beim Arbeiten mit dem Röhrenvoltmeter nach Hohage erhält man nur dann eine brauchbare Empfindlichkeit, wenn man die Hilfsspannungen so wählt, daß das Meßinstrument bereits ohne Wechselstromerregung einen Dauerausschlag zeigt, und zwar wächst die Empfindlichkeit bei kleinen Stromwerten mit wachsendem Dauerausschlag. Man kann daher die Empfindlichkeit der Anordnung nicht durch Einschalten eines empfindlicheren Instrumentes vergrößern, da man alsdann gezwungen ist, den Dauerausschlag zu verkleinern. Trägt man den durch eine angelegte konstante Wechselspannung hervorgerufenen Ausschlag Δi als Funktion des Ruhestromes i auf. so stellt die Kurve für kleine i-Werte eine durch den Nullpunkt gehende Gerade dar, d. h. der Quotient $\Delta i/i$ erreicht mit abnehmendem i einen konstanten Grenzwert. Für die Konstruktion von Röhrenvoltmetern kommt es darauf an, die Röhren so zu dimensionieren, daß der erwähnte Grenzwert möglichst groß wird. Er wird im Gebiet kleiner Stromwerte in erster Annäherung proportional einer Konstanten α^2, welche sich aus den Konstanten des Maxwellschen Verteilungsgesetzes (Boltzmannsche Konstante K, abs. Temperatur T, Elementarquantum ε) nach der Formel

$$\alpha = \frac{\varepsilon}{K\,T}$$

in erster Annäherung berechnen läßt. Dadurch bestätigt sich die Voraussetzung, daß die Elektronen aus dem Glühfaden mit der konstanten Maxwellschen Geschwindigkeitsverteilung austreten. Es gibt daher in dieser Richtung eine absolute Grenze für die Güte von Röhrenvoltmetern mit einfacher Ruhestromschaltung, die sich durch keinerlei Hilfsmittel überschreiten läßt.

Die experimentelle Untersuchung der Verhältnisse ergibt jedoch weder die vermutete Konstanz des Quotienten $\Delta i/i$, noch seine theoretisch zu erwartende umgekehrte Proportionalität mit dem Quadrat der Temperatur. Zur Aufklärung der Diskrepanz werden folgende Überlegungen angestellt: Ersetzt man das bisher zugrunde gelegte Gesetz für den Stromübergang bei ebenen Elektroden durch das für zylindrische Anordnungen gültige, so liegt die dadurch entstehende Änderung des Kurvenverlaufes zwar im Sinne einer Annäherung an die theoretisch zu erwartenden Ergebnisse, bestätigt diese jedoch noch nicht einmal qualitativ. Hierbei ist noch die Annahme gemacht, daß für den ganzen Vorgang nur ein dem negativen Pol unmittelbar benachbartes Stück des Glühdrahtes in Betracht kommt. Nicht viel besser wird die Sache beim Zugrundelegen einer kugelsymmetrischen Anordnung. Das hierfür gültige Gesetz ist u. U. auch auf zylindrische Anordnungen, wie die vorliegende, anwendbar, z. B. wenn die Fläche der Glühkathode klein ist gegen die Fläche der Auffangeelektrode. In praxi sind jedoch die Voraussetzungen dieses Idealfalles nicht hinreichend erfüllt, da neben anderen Einflüssen z. B. auch die abfangende Wirkung des Gitters nicht berücksichtigt ist, welche im Sinne einer Verringerung des Unterschiedes zwischen Theorie und Beobachtung wirken muß. *Zickner.*

Nachdruck verboten.


Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.


Digitized by Google

GENERAL ...
UNIV. OF MICH.
MAY ...

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. **Ambronn** in Göttingen, W. **Breithaupt** in Cassel, M. **Edelmann** in München, P. **Guthnick** in Neubabelsberg, O. **Günther** in Braunschweig, W. **Haensch** in Berlin, E. v. **Hammer** in Stuttgart, K. **Haußmann** in Berlin, C. **Hensoldt** in Wetzlar, W. **Hildebrand** in Freiberg i. S., E. **Kohlschütter** in Potsdam, H. **Krüss** in Hamburg, H. **Ludendorff** in Potsdam, O. **Lummer** in Breslau, H. **Maurer** in Berlin, W. **Nernst** in Berlin, C. **Pulfrich** in Jena, M. v. **Rohr** in Jena. W. **Sartorius** in Göttingen, A. **Schmidt** in Cöln a. Rh., R. **Steinheil** in München, R. **Straubel** in Jena, E. **Warburg** in Berlin, F. **Weidert** in Berlin, A. **Westphal** in Berlin, E. **Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang.

1924.

3. Heft: März.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1924.

Digitized by Google

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande **nur** durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Die Berechnung erfolgt heftweise.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei $^1/_4$ $^1/_2$ $^1/_1$ Seite Umfang
22.50 45.— 90.— Goldmark

Bei 6 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfri
10 $20^0/_0$ Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzei oder deren Raum von Strich zu Strich gemesse 0,20 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrag erfolgt zum Berliner Dollarbriefkurs des Vortages d Zahlung. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung h innerhalb 5 Tagen nach Rechnungs**datum** (für Gelege heitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellun **nur** auf Postscheckkonto 118935 Berlin Juli **Springer** abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Za lungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechne

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilage Preise auf Anfrage.

Rücksendung von Bildstöcken erfolgt zu Lasten d Eigentümer.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 2
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch
Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Deposi kasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzel Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118 Julius Springer.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Soeben erschien:

Einführung in die Markscheidekunde

Mit besonderer Berücksichtigung des Steinkohlenbergbaues

Von

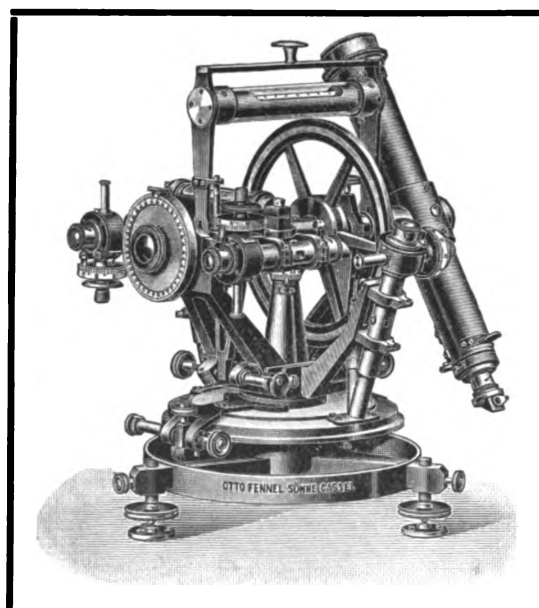
Dr. **L. Mintrop**

Leiter der berggewerkschaftlichen Markscheiderei, ord. Lehrer an der Bergschule zu Bochum.

Zweite, verbesserte Auflage. Neudruck 1923.

Mit 191 Textfiguren und 5 mehrfarbigen Tafeln in Steindruck. (VIII, 215 S.)

6,75 Goldmark / Fürs Ausland 1,65 Dollar



Theodolite / Tachymeter
Nivellier-Instrumente

OTTO FENNEL SÖHNE
CASSEL 3
Gegründet 1851



HAHN·GOERZ
THEODOLITE
NIVELLIERINSTRUMENTE
WINKELPRISMEN
Fordern Sie Prospekte
AKTIENGESELLSCHAFT HAHN
FÜR OPTIK UND MECHANIK
CASSEL 18.

Digitized by Google

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLIV. Jahrgang. **März 1924.** Drittes Heft.

Untersuchungen über psychologisch-physiologische Bisektionsfehler.

Von

P. Labitzke in Königsberg in Pr.

§ 1. Allgemeines. Theoretische Betrachtungen.

1. Allgemeines. Die vorliegenden Untersuchungen bilden eine Fortsetzung meiner früheren Arbeiten[1]) über den gleichen Gegenstand, nämlich über den bei der Bisektion irgendeines Intervalls auftretenden systematischen Fehler, sowie über die Genauigkeit derartiger Einstellungen. Im besonderen untersuchte ich jetzt die Wirkung verschiedener Einstellarten, die Fehlerverteilung, die Darstellung der Fehlerwerte durch Fehlerfunktionen, den Gebrauch des Reversionsprismas und die zeitlichen Änderungen der Fehlerwerte.

2. Der Einstellvorgang. Zunächst sei der Vorgang des Einstellens eines Mikroskopfadens auf die Mitte eines Intervalls kurz besprochen. Das Endziel dieses Vorganges ist die Einstellung auf den eben unmerklichen Unterschied der beiden durch den Faden gebildeten Hälften des zu halbierenden Intervalls. Es ist bekannt, daß die so gefundene „scheinbare Mitte", d. i. also die Intervallstelle, die der Beobachter als Mitte ansieht, sich zumeist nicht mit der wahren Mitte des Intervalls deckt. Die Abweichung der scheinbaren von der wahren Mitte bildet eben den in Rede stehenden systematischen Fehler c. Der letztere dieser Begriffe, die wahre Mitte, ist durchaus scharf; nicht so der erstere, die scheinbare Mitte. Denn auf einem zu halbierenden Intervall sieht der Beobachter bekanntlich nicht einen einzelnen Punkt als Halbierungspunkt an, sondern einen ganzen kontinuierlichen Bereich von Punkten, dem in der Psychologie der Begriff der Unterschiedsschwelle resp. des eben verkennbaren Unterschiedes analog ist, so daß man zunächst streng genommen von einer scheinbaren Mitte gar nicht reden kann.

Die Einstellung des Fadens auf die Intervallmitte bewirkt nun der Beobachter durch Drehung der Schraubentrommel. Dabei sind zwei Fälle möglich: er dreht die Trommel entweder kontinuierlich oder ruckweise. Im ersten Fall wird der Einstellprozeß folgendermaßen vor sich gehen.

---

[1]) a) Experimentelle Untersuchungen über die Fehler bei Mitteneinstellungen mit besonderer Berücksichtigung astronomischer Messungen. *Astron. Mitteil. d. Kgl. Sternwarte Göttingen 18. Göttingen 1914.* Referat: *Vierteljahrsschrift d. astron. Gesellschaft 1916. S. 171.* Diese Arbeit ist n der Folge kurz als (1 a) bezeichnet, die folgende mit (1 b).

b) Über die Fehler bei Mitteneinstellungen *Astron. Nachr. 203. S. 53. 1916.* Eine allgemeiner gehaltene, zusammenfassende Übersicht über die Ergebnisse dieser Arbeiten gab ich in „*Deutsche Opt. Wochenschr.*" *1917. S. 45.*



Nachdem der Faden in den eben gekennzeichneten Bereich eingedrungen ist, beginnt bei dem Beobachter eine Reihe psycho-physischer und physiologischer Akte[1]) mit dem Endziel, den Faden anzuhalten. Diese Akte gehören im wesentlichen zwei Vorgängen an; nämlich einerseits der bewußten Wahrnehmung der Bisektion seitens des Beobachters, andererseits dem Anhalten des Fadens resp. der Fassung des Willens hierzu. Es sei nur kurz daran erinnert, daß zum ersten Vorgang an physiologischen Akten das Anwachsen der Erregung im Sinnesorgan und die Leitung der Erregung durch die sensorischen Nerven zum Gehirn gehören und an psycho-physischen Akten Perzeption und Apperzeption des Eindrucks. Der zweite Vorgang enthält als physiologische Akte die Leitung der Erregung vom Gehirn zum reagierenden Organ, der Hand, das Ansteigen der Erregung in den Muskeln der Hand und endlich die Ausführung der Reaktion, d. h. Anhalten des Fadens. Die psycho-physischen Akte hierbei beruhen in der Entwicklung des Willensimpulses. Der Ablauf jeder dieser Akte bedarf bekanntlich einer gewissen, allerdings sehr kleinen Zeit. Ihre Summierung hat aber zur Folge, daß der Faden nicht sofort bei seinem Eintritt in den „Bereich" angehalten wird, sondern noch ein Stück weiter wandert. Wäre diese Zeit konstant und die Grenzen des „Bereichs" unverrückbar, so würde der Faden stets am selben Punkt des „Bereichs" angehalten, und es wäre somit ganz scharf eine scheinbare Mitte definiert. Nun ist aus äußeren und inneren Gründen sowohl die Dauer des ganzen Reaktionsvorganges als vermutlich auch die Lage des „Bereichs" schon beim einzelnen Individuum innerhalb gewisser Grenzen kurzperiodischen Schwankungen unterworfen. infolge der so entstehenden „zufälligen" Fehler bedecken die Einstellungen also ein ganzes Stück des erwähnten Bereichs. Inwieweit diese Schwankungen der Reaktionsdauer in der Verlängerung der Dauer der psycho-physischen und der physiologischen Akte (nach Wundt spielt die Verlängerung der Apperzeptionsdauer die Hauptrolle bei Verlängerung der Reaktionszeit) bedingt sind und wie stark äußere Einflüsse darauf wirken, soll hier nicht untersucht werden. Eine Rolle muß außerdem aber die Tatsache spielen, daß die Bereichgrenzen nicht scharf definiert sind; der Bereich ist, besonders bei größeren Intervallen, von Zonen umrandet, in denen die Bisektion zweifelhaft erscheint; auch hierin ist eine Quelle für Verstreuung der Einstellungen zu suchen. Diese Randzonen des Bereiches sind wahrscheinlich im Bau unseres Auges begründet, etwa in der Breite der Netzhautelemente; ferner in der Art, wie wir das Auge zum Bisezieren benutzen, denn ich empfinde diese Randzonen weit weniger bei Augenbewegung als bei fixiertem Blick.

Dreht man jedoch die Trommel nicht kontinuierlich, sondern ruckweise, und zwar, sobald der Faden in die Nähe des Bereichs kommt, jedesmal nur um ein kaum merkliches Stück und prüft nach jedem solchem sehr kleinen Ruck vor dem Weiterdrehen die Einstellung, so ist die Wirkung einer Reaktionszeit ganz eliminiert. Als Fehlerquelle existiert nur noch die Existenz der Randzonen, die Schwankungen der Bereichgrenzen und die durch willkürliches Anhalten des Fadens in den Prozeß hineingebrachte Zufälligkeit. Es ist nicht anzunehmen, daß dieses Verfahren dem ersten an Genauigkeit überlegen ist, da hier infolge der notwendig sehr gespannten Aufmerksamkeit keine Mechanisierung des Einstellvorgangs eintreten kann, welche gewöhnlich steigernd auf die Genauigkeit wirkt, und da die ruckweise Bewegung im Verhältnis zum Durchmesser des Bereichs immer noch recht groß sein wird. Würde man überdies nicht außerordentlich vorsichtig und aufmerksam verfahren, sondern

[1]) Vgl. hierüber Wundt, Grundzüge der physiolog. Psychologie, 3. Bd. 1911. S. 359 ff., 388 ff.

Digitized by Google

würde man der Zeitersparnis wegen das ruckweise Drehen in größeren Abschnitten ausführen, so müßte die Genauigkeit der Einstellungen erheblich darunter leiden.

Die oben geschilderte Verknüpfung des Einstellprozesses mit einem Reaktionsvorgang legt es nahe, ähnlich wie bei den Durchgangsbeobachtungen an zwei Arten von Reaktionen zu denken, nämlich an eine sensorielle und eine muskuläre[1]). Diese beiden Beobachtungsarten der Tasterregistrierung unterscheiden sich wie bekannt dadurch, daß bei der sensoriellen Methode die Aufmerksamkeit nur auf den Fadenantritt, bei der muskulären der Hauptanteil der Aufmerksamkeit jedoch auf das reagierende Organ, die Hand, gerichtet ist. Dadurch soll im letzteren Fall durch Elimination des Apperzeptionsvorgangs eine kürzere und wohl auch konstantere Reaktionszeit erreicht werden. Bei dem hier zur Rede stehenden Einstellvorgang sind die Merkmale aber doch wesentlich anders, indem hier von vornherein eine Mischung beider Reaktionsarten vorliegt, so daß ein extrem sensorielles oder extrem muskuläres Reagieren überhaupt unmöglich ist. Außerdem ist bei den hier in Rede stehenden Einstellungen eine kurze Reaktionszeit nicht erforderlich, was ja die Anwendung der muskulären Methode bei den Durchgangsbeobachtungen im wesentlichen bezweckt. Es würde hier nur darauf ankommen, eine möglichst konstante Reaktionszeit zu erhalten, um die Genauigkeit zu steigern. Denselben Erfolg wird aber ohne Zweifel die von mir vorgenommene, sogleich zu erläuternde Mechanisierung des Einstellprozesses haben. Dennoch prüfte ich die Sachlage durch einige Versuche, indem ich versuchte, einmal die Hand unbeachtet zu lassen und nur dem Gesichtsfeld Aufmerksamkeit zu schenken (sensorielle Methode), und dann die Einstellung gedankenlos vorzunehmen und mich nur jeden Augenblick auf das Anhalten der Hand vorzubereiten (muskuläre Methode). Die Resultate ergaben, wie hier nur erwähnt werden soll, für die beiden Methoden keine merkbare Verschiedenheit des systematischen Fehlers und der Genauigkeit.

Man könnte vielleicht aber den Einstellungsvorgang den Durchgangsbeobachtungen dadurch ähnlicher gestalten, daß man durch ein Uhrwerk dem Faden resp. der Meßschraube eine langsame Bewegung erteilt und, sobald der Beobachter die Bisektion bemerkt, diese durch Lösung eines Kontaktes hemmt resp. die Schraubenablesung registrieren läßt. Hierdurch würde eine weitere Mechanisierung des Einstellungsvorganges erreicht, wodurch, etwa zugleich noch durch Anwendung der muskulären Beobachtungsmethode, sehr wahrscheinlich eine Genauigkeitssteigerung und eine Beschleunigung der Beobachtungen erzielt würde.

Die Ursache der Existenz der hier als „Bereich“ bezeichneten Intervallstelle ist ohne Zweifel rein physiologischer Natur, mag sie nun im Bau des Auges begründet sein oder in den physiologischen Vorgängen der Bisektion, da die Reizänderungen erst eine gewisse Größe erreichen müssen, um Nervenerregungen oder Empfindungen hervorzurufen, so daß vorher zentrale Prozesse gar nicht eintreten können. Der systematische Fehler c muß dann dadurch entstehen, daß der „Bereich“ von den Beobachtern unsymmetrisch zur wahren Mitte des Intervalls verlegt wird. Über die Ursache dieser Unsymmetrie gehen nun die Ansichten der einzelnen Forscher weit auseinander. Gegen die Theorien, welche die Ursache zu diesem systematischen Fehler allein im Bau des Auges suchen oder in der Art, wie wir uns dessen beim

---

[1]) Vgl. hierüber Wundt, a. a. O., S 390 u. 412; ferner Alechsieff, Reaktionszeiten bei Durchgangsbeobachtungen, Philos Studien **16**. S. 1. 1900; ferner Labitzke, Die instrumentellen Hilfsmittel zur Beseitigung der persönlichen Fehler bei astronom. Durchgangsbeobachtungen, *Deutsche Opt. Wochenschr. S. 378, 396. 1917.*


Digitized by Google

Bisezieren bedienen, wie z. B. die von Kundt[1]), Kritzinger[2]) und Münsterberg[3]), sprechen die Tatsachen, daß sich der Fehler in derselben Richtung und derselben Größenordnung sowohl bei Halbierung mit bewegtem Auge als auch mit fixiertem Blick zeigt; ferner, daß er sowohl bei Bisektion in horizontaler wie in vertikaler Richtung auftritt; weiterhin, daß nach Volkmann[4]) seine Größe, wie ganz besonders auch sein Vorzeichen, für denselben Beobachter mit der Zeit variabel sind; und schließlich, daß auch von Beobachter zu Beobachter in Größe und Vorzeichen eine große Verschiedenheit auftritt. Viel wahrscheinlicher, als daß der Fehler rein physiologischer Natur ist, ist daher die Annahme, daß er wesentlich durch psychologische Ursachen mitbedingt ist, indem z. B. der Vorstellungsinhalt, den der einzelne Beobachter von der Bisektion besitzt, aus irgendwelchen Gründen fehlerhaft ist. Auf dieselbe Ursache weist auch Bühler[5]) hin, der von einer inkorrekten „Einstellung des Beobachters auf das Verhältnis 1 : 1“ spricht. Über die Ursachen dieser falschen „Einstellung“ geben die Theorien gewisse Aufschlüsse, die die Entstehung der falschen Bisektion in mehr äußeren Gründen suchen, wie z. B. ungewohnte Lage der zu bisezierenden Strecke zum Auge; hierhin gehören die von Helmholtz[6]) und Feilchenfeld[7]) gegebenen Erklärungen. Obschon sich diese nur auf spezielle Fälle der Richtung des systematischen Fehlers beziehen, können sie doch in diesen Fällen die richtige Erklärung für die Bildung eines falschen Vorstellungsinhaltes geben.

Es muß an dieser Stelle noch erwähnt werden, daß ein neuerdings erschienenes Buch von Schulz[8]) in nicht ganz zutreffender Weise über den systematischen Fehler referiert. Es wird zunächst darin behauptet, daß bei normal gebautem Auge die nach der Nasenseite zu gelegene Intervallhälfte überschätzt wird. Das ist bekanntermaßen nicht so regelmäßig der Fall, als daß man in dieser Weise von einem Normalfall reden könnte, worauf ich auch in früheren Arbeiten schon wiederholt hinwies. Weiterhin erwähnt das Buch als einzigen Erklärungsversuch den von Kritzinger, so daß die fälschliche Ansicht erweckt werden könnte, als sei diese Theorie etwa die allgemein anerkannte. Ganz im Gegensatz habe ich selbst in einem Aufsatz[9]) dargelegt, daß die fragliche Theorie in der bisherigen Form nicht zutreffend sein kann. Diese Arbeit scheint Schulz gänzlich entgangen zu sein, denn sonst hätte er nicht erneut die Kritzingersche Theorie allein durch die Beobachtungen von Hartmann gestützt, welche für die schon von Kritzinger zum Beweis herangezogenen Intervallgrößen doch nur extrapoliert sind.

3. **Die Einstellarten.** Ich habe bei den folgenden Einstellungen die Trommel kontinuierlich gedreht, und zwar auf folgende beide Arten. Einmal geschah das Drehen sehr langsam, und die Aufmerksamkeit war scharf gespannt, aber fast ausschließlich dem Gesichtsfeld und nur wenig der drehenden Hand zugewandt; beim schnellen Einstellen andererseits wurde rasch und gedankenlos verfahren. Der Faden wird nun, während sich die psycho-physischen und physiologischen Akte abspielen, im ersten

---

[1]) Untersuchungen über Augenmaß und optische Täuschungen. *Poggendorffs Ann.* **210**.
[2]) Physiologisch-psychologische Fragen d. astron. Beobachtungskunde, *Sirius* **48**. *S. 3. 1915.*
[3]) *Beiträge zur experim. Psychologie, Heft 2. S. 125ff.*
[4]) Physiolog. Untersuchungen im Gebiete der Optik, S. 117ff.
[5]) Die Gestaltwahrnehmungen, W. Spemann, Stuttgart 1913, Bd. 1.
[6]) *Physiolog. Optik* **3**. S. 169.
[7]) Über die Größenschätzungen im Sehfeld, *Arch. f. Ophthalmologie* **53**. *S. 401.*
[8]) Das Sehen, eine Einführung in die physiolog. Optik, Stuttgart 1920, S. 60.
[9]) *Astron. Nachr.* **203**. *S. 58. 1916.*

Digitized by Google

Fall weniger weit wandern als im zweiten, also in jenem Fall weniger tief in den Bereich eindringen, womit eine Änderung im Betrag des systematischen Fehlers verbunden sein muß. Einerseits ist dies durch die viel langsamere Bewegung im ersten Fall bedingt, andererseits dadurch, daß die Erregung in den Muskeln der Hand im zweiten Fall, infolge des hier erforderlichen größeren Kraftaufwandes, auf einen höheren Betrag ansteigen muß als im ersten, wozu notwendig auch eine längere Zeit gehört. Merkel[1]) erkennt diese Tatsache ebenfalls; er schreibt jedoch dieses Eindringen nur einem gewissen Nachwirken der Empfindungen zu.

Der zweite Einstellvorgang weicht vom ersten nun noch insofern ab, als jener mit gespannter, dieser fast ohne Aufmerksamkeit ausgeführt wurde. Es ist anzunehmen, daß die Dauer der physiologischen Akte hiervon nicht wesentlich beeinflußt wird, wohl aber die der psycho-physischen und hier in erster Linie, nach Wundt vielleicht sogar ausschließlich, die Apperzeption, und zwar wird hierauf die Abwesenheit der Aufmerksamkeit beim schnellen Einstellen, die also einem Nachlassen der Spannung gleichkommt, verlängernd wirken. Andererseits bewirkt zwar die Mechanisierung des Vorgangs eine Verkürzung der Reaktionsdauer, indem eine teilweise Elimination des Apperzeptionsprozesses resp. ein zeitliches Zusammenfallen desselben mit der folgenden Entwicklung des Willensimpulses eintritt. Das tiefere Eindringen des Fadens in den Bereich wird hierdurch aber nicht aufgehoben werden, da die Verkürzung der Reaktionszeit nicht den dazu erforderlichen Betrag erreichen wird. Was die Genauigkeit der beiden Einstellarten anlangt, so scheinen zwar zunächst die kurzen Reaktionen beim aufmerksamen Einstellen größere Genauigkeit zu versprechen. Die unvermeidlichen Aufmerksamkeitsschwankungen haben aber notwendig Schwankungen der Reaktionszeit und damit Ausbreitung der Einzeleinstellungen auf ein größeres Intervall zur Folge. Bei der anderen Methode wird zudem durch die Mechanisierung des Einstellvorgangs erreicht werden, daß alle äußeren Einflüsse sich weit weniger geltend machen und auch das Drehen viel konformer geschieht. Das ganze Verfahren erhält also dann vielmehr automatischen Charakter, und dies führt unbedingt dazu, daß die Einzelbeobachtungen weniger voneinander abweichen. Es steht also zu erwarten, daß infolgedessen das letztere Verfahren dem weit mühsameren aufmerksamen und langsamen Einstellen an Genauigkeit, wenn nicht gar überlegen, so doch zum mindesten gleichwertig ist. Diese Ausführungen lassen ferner vermuten, daß bei dieser Art der Einstellung aus inneren Gründen eine Grenze eintritt, über die hinaus die Genauigkeit, welche Mühe man auch aufwenden mag, nicht gesteigert werden kann.

4. Die Verteilung der Einzeleinstellungen. Was nun die Verteilung der einzelnen Einstellungen innerhalb des Bereiches anlangt, so ist anzunehmen, daß diese nach dem Gaußschen Fehlergesetz geschieht. Denn die Einstellungen werden sich jedenfalls nach Art zufälliger Fehler um eine Häufungsstelle gruppieren, deren Mitte mit dem arithmetischen Mittel aller Beobachtungen zusammenfallen wird. Dieser Mittelwert hat nun zwar nicht im fehlertheoretischen Sinn die Bedeutung des wahrscheinlichsten Wertes der wahren Mitte, sondern er ist nur als eine zweckmäßig gewählte Konvention der Lage der „scheinbaren" Mitte anzusehen. Zur Auffindung der wahren Mitte wird nun das bekannte Eliminationsverfahren (Messung in zwei um 180° verschiedenen Lagen der Platte oder in den zwei um 90° verschieden Stellungen eines Reversionsprismas) angewandt. Dieses stellt an den abzuleitenden Mittelwert die einzige Anforderung, daß er mit möglichst großer Wahrscheinlichkeit in beiden

[1]) Die Methode der mittleren Fehler, *Philos. Studien* 9. *S. 178 u. 411. 1894.*

Digitized by Google

Lagen resp. Stellungen dieselbe Lage zur wahren Mitte hatte, während diese Lage selbst gleichgültig ist, und diese Eigenschaft wird ja gerade dem arithmetischen Mittel aller Beobachtungen am ehesten zukommen.

Die Abweichungen der Einzeleinstellungen von diesem Mittelwert nehmen dann die Stelle der Beobachtungsfehler ein, und diese geben uns ein Maß für dessen Präzision.

Ein Bedenken gegen die Verteilung nach dem Gaußschen Gesetz besteht allerdings darin, ob sich die Beobachtungen auch wirklich symmetrisch zu dem Mittelwert verteilen. Es ist zwar anzunehmen, daß kurze Reaktionen ebenso wahrscheinlich sein werden wie lange, so daß also in diesem Punkt einer symmetrischen Verteilung nichts im Wege stünde. Nun ist aber für die Dauer der Reaktionszeit eine untere Grenze gegeben, unter die diese aus inneren Gründen nicht gehen kann. Eine obere Grenze existiert in dieser festen Form jedoch nicht, so daß ausnahmsweise in der einen Hälfte des durch die Häufungsstelle geteilten Bereichs große Abweichungen auftreten können, denen keine gleich großen Abweichungen in der anderen Hälfte gegenüberstünden. Besonders günstig erscheint hierzu das langsame Einstellen, da hier einerseits, wie später ersichtlich, der Bereich durch die Häufungsstelle unsymmetrischer geteilt wird, indem so noch für längeres Weiterwandern des Fadens in der zweiten Bereichhälfte Raum ist; andererseits wird jede zu schnelle Fadenbewegung (etwa ein Rückfall in das schnelle Einstellen) ebenfalls sehr große „Fehler“ in der zweiten Bereichhälfte hervorbringen. Die Fehlerkurve könnte sich demnach auf der einen Seite des Mittelwertes weiter ausdehnen und einen andern Abfall besitzen als auf der anderen; so daß in dieser Beziehung eine Abweichung vom Gaußschen Gesetz eintreten könnte. Abgesehen von dieser Unsymmetrie dürfte aber der Anwendbarkeit der Gaußschen Fehlertheorie nichts im Weg stehen.

Der mit der Größe des zu halbierenden Intervalls bekanntlich wachsende mittlere Fehler der Einstellungen wird sich für beide Einstellarten so erklären, daß einerseits der Bereich mit wachsender Intervallgröße l an Ausdehnung wächst, also so den Raum für die stärkere Streuung der Einzeleinstellungen liefert, während andererseits diese stärkere Streuung selbst darin beruht, daß mit zunehmendem l die Halbierung schwieriger wird und so vielfach eine größere Zeit beansprucht, wodurch sich nebenbei auch das Anwachsen des systematischen Fehlers mit l erklärt. Die besonders bei größeren Intervallen hinzutretende Augenbewegung wird hierauf erheblich von Einfluß sein, womit dann auch der Einstellvorgang eine wesentliche Änderung erfährt, die sich auch in dessen gesetzmäßiger Darstellung widerspiegeln kann. Ich will gleich hier bemerken, daß ich bei größeren Intervallen mit bewegtem Auge, bei kleineren naturgemäß mit fixiertem Blick beobachtete.

Für das Einstellen durch ruckweises Drehen der Schraubentrommel würden sich die vorstehenden Betrachtungen ganz ähnlich gestalten.

§ 2. Die Beobachtungen.

1. Die Anordnung der Beobachtungen. Die Beobachtungen sind an dem Toepferschen Meßmikroskop der Frankfurter Sternwarte ausgeführt worden. Die Schraubentrommel trägt einen einfachen Index, an dem 0,001 Rev. = 0,0005 mm gut geschätzt werden kann.

Als zu halbierende Intervalle wurden wieder wie früher ein durch photographische Verkleinerung auf Platten hergestelltes System von dunklen, Spektrallinien ähnlichen Linien auf hellem Grund von verschiedenen Stärken benutzt.

Digitized by Google

Bei allen Beobachtungsreihen wurde zur Bestimmung der Größe des systematischen Fehlers in bekannter Weise ein Reversionsprisma benutzt. Die Halbierungen geschahen in horizontaler wie in vertikaler Richtung, d. h. im ersteren Fall z. B., daß die Linien in ihrer horizontalen Ausdehnung, also in ihrer Breite, mit dem vertikal stehenden Meßfaden halbiert wurden. Der Faden bewegt sich bei der Stellung „direkt" des Reversionsprismas (d. h. die Stellung, in der eine Vertauschung von links und rechts nicht stattfindet) im Gesichtsfeld scheinbar von links nach rechts; in der um 90° verschiedenen Stellung „umkehrend" des Prismas erfolgt dann natürlich die Fadenbewegung in der Richtung rechts-links. Senkrecht zu diesem Einstellfaden war ein Doppelfadenpaar mit variabler Distanz angebracht, womit in der Längsrichtung des „Spektrums" ein schmales Stück aller $1^3/_4$ mm hoher Linien in ihrer vertikalen Ausdehnung, also ihrer Länge, abgegrenzt wurde; innerhalb dieses abgegrenzten Teiles wurde dann stets die Einstellung vorgenommen, um von den Unregelmäßigkeiten im Aussehen der Linien unabhängiger zu sein.

Zunächst folge eine Übersicht über die ausgeführten Beobachtungsreihen.

Nr.	Halbierungsrichtung	benutztes Auge	Art der Einstellung	Bemerkungen
1	horizontal	rechtes	schnell und mechanisch	
2	"	linkes	" " "	
3	"	rechtes	" " "	kleine Intervalle
4	vertikal	"	" " "	
5	"	linkes	" " "	
6	horizontal	rechtes	langsam und aufmerksam	
7	"	"	schnell und mechanisch	wie Reihe 1
8	"	linkes	" " "	" " 2
9	"	rechtes	langsam und aufmerksam	für ein großes Intervall
10	"	"	schnell und mechanisch	

Die Beobachtungen geschahen für Reihe 1 bis 8 mit der Vergrößerung $V = 22$, gültig für die Sehweite 25 cm; für die bei meinen früheren makroskopischen Versuchen angewandte Sehweite 34 cm ergibt sich die Vergrößerung $V' = 30$; bei den Reihen 9 und 10 war $V = 6$, $V' = 8$. Jede Beobachtungsreihe wurde an mehreren Tagen beobachtet, so daß durch Mittelung der Werte verschiedener Tage eine teilweise Elimination kurzperiodischer Änderungen der Fehler eintritt. Jede Einzelbeobachtung besteht aus zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Einstellungen, deren Mittel dann notiert wurde; nur bei den Reihen 9 und 10 wurde die Einzelbeobachtung notiert und der Rechnung zugrunde gelegt. Außer Beobachtung in den beiden Stellungen des Reversionsprismas wurde auch gleichzeitig in zwei um 180° verschiedenen Lagen *I* und *II* der Platte beobachtet. Die Durchmesser der Linien wurden mit dem um 45° gedrehten Fadenkreuz durch Pointieren mit dem Kreuzungspunkt zweier Fäden bestimmt.

Die Reihe 3 unterscheidet sich von den sonst gleichartigen Reihen 1 und 7 nur dadurch, daß sie mit kleineren Intervallen bis herab zu der Ordnung der Fadenstärke beobachtet wurde. Bei den Reihen 9 und 10 wurde nur ein helles Intervall von 2,223 mm verwandt, das den Zwischenraum zwischen zwei dunklen Linien einer Platte bildete.

2. Die Ergebnisse der Beobachtungen. Aus den Ablesungen in den zwei Stellungen des Reversionsprismas für jede Linie bei den Reihen 1 bis 8 wird durch

Digitized by Google

einfache Bildung deren halber Differenz der Gesamteinstellungsfehler f erhalten. Das Mittel aller f für ein und dieselbe Linie gibt den systematischen Fehler c für die betreffende Intervallgröße l; die einzelnen Differenzen $c - f$ stellen dann die zufälligen Fehler dar, aus denen auf bekannte Weise der mittlere Fehler einer Einstellung v und der mittlere Fehler des Resultats V erhalten wird. Ferner wurden noch die Werte c/l und v/l berechnet, die ebenfalls von Interesse sind. Nach Ausführung dieser Reduktionen wurden die genannten Fehlerwerte für Linien nahe gleicher Stärke zu einem Mittel vereinigt, wodurch zugleich erreicht wurde, daß der Einfluß von Unregelmäßigkeiten im Aussehen der Linien auf die Fehlerwerte zum Teil eliminiert wird. Schließlich wurden noch die Ergebnisse der einzelnen Beobachtungstage für jede Intervallgröße in ein Mittel zusammengefaßt.

Die folgende Tabelle I gibt die Werte c, v und V in Millimetern ausgedrückt, ebenso wie die Intervallgröße l. Eine Umrechnung dieser Größen in Bogenmaß habe ich unterlassen, da ihre Größenordnung dieselbe ist wie in meiner früheren Arbeit (1 b), daher also gegebenenfalls dort nachgeschlagen werden kann. Einzelne Werte, die besonderes Interesse beanspruchen, gebe ich jedoch auch hier später in Bogenmaß.

Zu Tabelle I sei noch folgendes bemerkt. In der ersten Spalte ist neben der Nummer der Reihe deren Art nochmals kurz bezeichnet; es bedeutet *h* horizontale, *v* vertikale Halbierungsrichtung; *r* rechtes, *l* linkes Auge; *m* mechanisches, *a* aufmerksames Einstellen. Das Pluszeichen bei c bedeutet wie früher im Fall horizontaler Halbierung zu weit rechts, im Fall vertikaler Halbierung zu weit oben eingestellt. Die c/l und v/l habe ich nicht bei allen Reihen gegeben, da ihr Verlauf zumeist der gleiche ist. In der Spalte „Anzahl der Beobachtungen" ist diese für die einzelnen Beobachtungstage getrennt gegeben, so daß die Zahl der letzteren auch erkennbar ist; wenn mehrere Linien gleicher Stärke zu einem Mittel zusammengefaßt sind, ist dies durch das nicht zusammengezogene Produkt der Zahl der Linien mit der Anzahl der auf jede ausgeführten Einstellungen gekennzeichnet.

Bei den Reihen 9 und 10 (*S. 71*) sind die Ablesungen für die einzelnen Beobachtungsserien an jedem Tag zunächst gemittelt und dann die Differenzen Mittel minus Einzelbeobachtung, die „Fehler", gebildet. Diese wurden sodann entsprechend den anderen Zwecken dieser Reihen nach der Größe und dem Vorzeichen geordnet; diese Ergebnisse sind in der Tabelle II resp. III für langsames resp. schnelles Einstellen niedergelegt, und zwar sind hier bereits die Anzahl der Fehler bezüglich ihrer Größe in Gruppen zu je drei Einheiten der dritten Dezimale der Schraubenangaben nach Vorzeichen getrennt zusammengefaßt: außerdem ist in Schraubenrevolutionen c, v und V gegeben, sowie noch der wahrscheinliche Fehler r einer Einstellung und die Anzahl n der Einstellungen bei jeder einzelnen Serie. Die fortlaufende Numerierung der Serien von Reihe 9 und 10 gibt zugleich die chronologische Aufeinanderfolge ihrer Entstehung; Serien, die am gleichen Tag erhalten wurden, sind mit derselben Nummer gekennzeichnet, aber durch die ersten kleinen Buchstaben des Alphabets unterschieden. Von den weiter am Kopf jeder Reihe auftretenden Buchstaben bedeutet *d* direkte, *u* umkehrende Stellung des Reversionsprismas. Für die Serien 5 und 7 mit 150 aufeinanderfolgenden Beobachtungen bei beiden Einstellarten wurden außerdem für die oben angegebenen Stufen die Anzahl der Fehler nach Gauß berechnet; in der Rubrik *B* sind dann die beobachteten, in der Rubrik *R* die so berechneten Werte gegeben, ebenfalls getrennt nach positiven und negativen Fehlern. Genau dasselbe wie für diese beiden Serien wurde für die Gesamtheit der Fehler aus allen Serien bei beiden Einstellarten durchgeführt; es wird dies zum Studium der Fehler-

Digitized by Google

Tabelle I.

Nr.	l	c	c/l	v	v/l	V	Anzahl der Beobachtungen
1	0,035	+ 0,0012	0,039	0,00045	0,0128	0,00019	3, 6, 6, 6
h, r, m	046	13	28	57	123	26	3 × 3, 3 × 6, 3 × 6, 3 × 6
	057	15	26	53	92	24	2 × 3, 2 × 6, 2 × 6, 2 × 6
	080	12	15	75	94	35	3, 6, 6, 6
	106	23	20	79	74	39	3 × 3, 3 × 6, 3 × 6, 3 × 6
	122	30	24	58	48	26	2 × 3, 2 × 6, 2 × 6, 2 × 6
	180	37	20	86	48	40	2 × 3, 2 × 6, 2 × 6, 2 × 6
	210	42	20	51	24	22	3, 6, 6, 6
	248	40	14	137	55	61	3, 6, 6, 6
	279	44	16	98	35	46	3, 6, 6, 6
	314	54	17	112	35	46	3, 6, 6, 6
2	0,035	− 0,0001	0,004	0,00033	0,0095	0,00013	6, 6, 6
h, l, m	046	+ 1	2	46	100	18	3 × 6, 3 × 6, 3 × 6
	057	2	4	44	78	18	2 × 6, 2 × 6, 2 × 6
	080	3	4	47	59	19	6, 6, 6
	106	0	0	59	55	25	3 × 6, 3 × 6, 3 × 6
	122	4	3	52	42	21	2 × 6, 2 × 6, 2 × 6
	180	18	10	82	45	33	2 × 6, 2 × 6, 2 × 6
	210	21	10	79	37	32	6, 6, 6
	218	20	8	103	41	41	6, 6, 6
	279	25	9	93	33	31	6, 6, 6
	314	26	8	119	38	48	6, 6, 6
3	0,015	+ 0,0001	0,006	0,00014	0,0093	0,00005	6, 6, 6
h, r, m	034	10	30	57	168	23	4 × 6, 4 × 6, 4 × 6
	042	14	33	48	114	19	6, 6, 6
	057	17	30	45	79	18	6, 6, 6
	069	19	28	68	98	27	2 × 6, 2 × 6, 2 × 6
	077	19	24	54	70	22	3 × 6, 3 × 6, 3 × 6
	101	29	30	53	52	21	2 × 6, 2 × 6, 2 × 6
	115	30	26	48	42	19	2 × 6, 2 × 6, 2 × 6
	128	35	27	75	59	30	6, 6, 6
	145	31	21	62	42	24	6, 6, 6
4	0,033	+ 0,0011		0,00084			2 × 6, 2 × 6
v, r, m	042	12		82			6, 6
	057	15		66			6, 6
	070	18		73			6, 6
	104	26		95			6, 6
	115	24		77			2 × 6, 2 × 6
	145	36		80			6, 6
5	0,033	+ 0,0004	0,012	0,00044			2 × 6, 2 × 6
v, l, m	042	13	31	48			6, 6
	057	16	28	73			6, 6
	070	16	22	32			6, 6
	104	25	24	85			6, 6
	115	28	24	50			2 × 6, 2 × 6
	145	32	22	93			6, 6

Digitized by Google

Tabelle I (Fortsetzung).

Nr.	l	c	c/l	v	Anzahl der Beobachtungen
6	0,011	+ 0,0006		0,00037	6, 6, 6
h, r, a	044	12		56	2 × 6, 2 × 6, 2 × 6
	058	16		59	6, 6, 6
	080	13		96	6, 6, 6
	110	21		72	6, 6, 6
	174	38		110	6, 6, 6
	210	46		110	6, 6, 6
	248	40		133	6, 6, 6
	314	43		101	6, 6, 6
7	0,044	+ 0,0016		0,00052	2 × 6, 2 × 6
h, r, m	058	22		47	6, 6
	080	24		62	6, 6
	110	33		50	6, 6
	174	42		81	6, 6
	210	50		74	6, 6
	248	38		87	6, 6
	314	51		79	6, 6
8	0,044	+ 0,0002	0,005	0,00036	2 × 6, 2 × 6
h, l, m	058	11	19	70	6, 6
	080	8	10	60	6, 6
	110	7	6	98	6, 6
	174	12	7	93	6, 6
	210	21	10	96	6, 6
	248	24	10	78	6, 6
	314	25	8	121	6, 6

verteilung statthaft sein, da es sich bei allen Serien um genau dieselbe Einstellung handelt, ferner ein systematischer Fehler nicht mehr in den Fehlern enthalten ist und Änderungen in der Genauigkeit von Serie zu Serie durch deren Zahl sich wie zufällige Fehler verhalten werden; es werden sich also sogar noch verschiedene Zu-

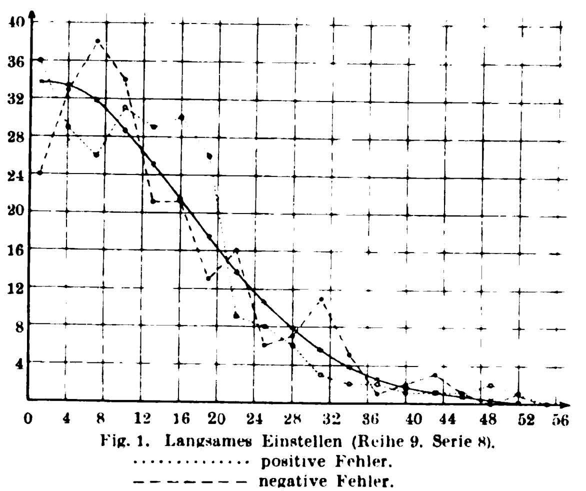


Fig. 1. Langsames Einstellen (Reihe 9, Serie 8).
·············· positive Fehler.
– – – – – – – negative Fehler.
——— Gaußsche Fehlerkurve.
Abscissenachse: Größe der Fehler in Einheiten der 3. Dezimale der Schraubenrevolution (1 Rev. = 0,5 mm).
Ordinatenachse: Anzahl der Fehler.

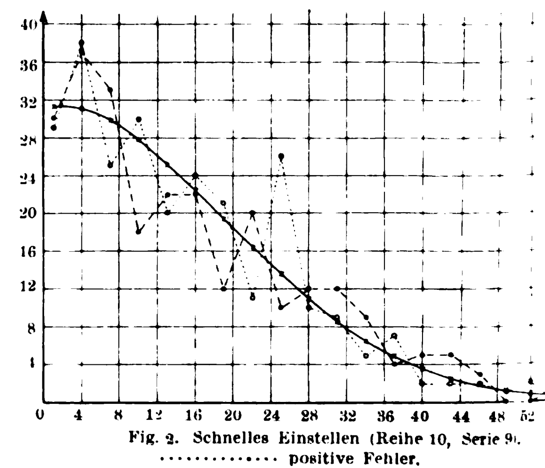


Fig. 2. Schnelles Einstellen (Reihe 10, Serie 9).
·············· positive Fehler.
– – – – – – – negative Fehler.
——— Gaußsche Fehlerkurve.
Abscissenachse: Größe der Fehler in Einheiten der 3. Dezim… der Schraubenrevolution (1 Rev. = 0,5 mm).
Ordinatenachse: Anzahl der Fehler.

Digitized by Google

Tabelle II. Langsames Einstellen. (Reihe 9.)

1a		1b		1c		2a		2b		2c		5					6		8 (Alle Serien zusammengefaßt)							
d		*u*		*d*		*d*		*u*		*d*		*d*					*d*							+ u. − vereinigt		
+	−	+	−	+	−	+	−	+	−	+	−	$B-R_+$	B_+	R	B_-	$B-R_-$	+	−	$B-R_+$	B_+	R	B_-	$B-R_-$	B	R	$B-R$
6	4	7	3	3,5	4,5	1	3	6	1	3	0	−3,5	6,5	10	8,5	−1,5	3	0	+2	36	34	24	−10	60	67	−7
2	3	4	4	5	4	3	3	2	5	6	4	−3	7	10	6	−4	0	4	−4	29	33	33	0	62	67	−5
3	1	5	4	5	4	0	3	2	6	6	4	−4	5	9	15	+6	0	1	−6	26	32	38	+6	64	64	0
2	3	5	3	0	2	4	2	6	3	3	5	+2	11	9	15	+6	0	1	+2	31	29	34	+5	65	57	+8
2	3	2	1	2	1	4	0	5	2	4	4	+1	9	8	9	+1	1	1	+4	29	25	21	−4	50	50	0
3	2	5	2	3	2	3	2	1	3	2	1	+5	12	7	7	0	1	2	+9	30	21	21	0	51	43	+8
1	1	4	1	1	1	2	2	5	1	5	2	+2	7	5	5	0	1	0	+9	26	17	13	−4	39	35	+4
2	1	0	3	0	1	1	1	0	4	1	0	−2	3	5	5	0	2	1	−5	9	14	16	+2	25	28	−3
	0	0	1	1	0	1	1	2	1	2	0	−3	1	4	3	−1	1	0	−2	8	10	6	−4	14	21	−7
	1	1	1	3	0	0	0	1	1	1	1	−3	0	3	3	0		0	−2	6	8	7	−1	13	16	−3
		0	0	1	3	0	2	1	1	0	3	−1	1	2	1	−1		1	−3	3	6	11	+5	14	11	+3
		0	1	1	0	1	1		0	0	0	−1	0	1	3	+2			−2	2	4	5	+1	7	8	−1
		0	0		0				0	1	1	0	1	1	0	−1			−1	2	3	1	−2	3	5	−2
		1	1		1				0		0	−1	0	1	0	−1			−1	1	2	2	0	3	3	0
			1		0				1		1	+1	1		0	0			0	1	1	3	+2	4	2	+2
					0							+1	1		1	+1			0	1	1	1	0	2	1	+1
					0							+2	2						+2	2		0	0	2	1	+1
					1							+1	1						+1	1		1	+1	2	1	+1
40		60		50		40		60		60		150					20		480							
Rev.		Rev.		Rev.		Rev.		Rev.		Rev.		Rev.					Rev.									
−0,0118		+0,0801		+0,0221		+0,0195		+0,0769		+0,0069		+0,0068					−0,0010									
0,0122		0,0162		0,0177		0,0166		0,0161		0,0167		0,0173					0,0155		0,0164							
0,0082		0,0109		0,0119		0,0112		0,0109		0,0113		0,0117					0,0105		0,0111							
0,0019		0,0021		0,0025		0,0026		0,0021		0,0022		0,0014					0,0034		0,0007							

Tabelle III. Schnelles Einstellen. (Reihe 10.)

	3a		3b		3c		4a		4b		4c		7					9 (Alle Serien zusammengefaßt)							
	d		*u*		*d*		*d*		*u*		*d*		*d*										+ u. − vereinigt		
	+	−	+	−	+	−	+	−	+	−	+	−	$B-R_+$	B_+	R	B_-	$B-R_-$	$B-R_+$	B_+	R	B_-	$B-R_-$	B	R	$B-R$
−2	2,5	3,5	1,5	7,5	5,5	1,5	2,5	2,5	3	1	6	4	−1	8	9	10	+1	−2	29	31	30	−1	59	63	−4
−5	3	3	5	7	9	4	2	4	5	6	1	4	+4	13	9	9	0	+7	38	31	37	+6	75	62	+13
−8	2	4	4	9	3	5	2	1	4	5	3	2	−2	7	9	7	−2	−5	25	30	33	+3	58	60	−2
−11	1	2	4	1	3	3	1	2	4	2	5	1	+4	12	8	7	−1	+2	30	28	18	−10	48	56	−8
−14	5	2	1	5	2	5	2	1	3	2	1	1	−1	6	7	6	−1	−5	20	25	22	−3	42	50	−8
−17	2	3	4	3	2	1	0	3	6	4	5	1	−1	5	6	7	+1	+2	24	22	22	0	46	45	+1
−20	4	2	0	2	1	1	1	1	7	4	2	0	0	6	6	2	−4	+2	21	19	12	−7	33	39	−6
−23	1	1	2	5	2	1	0	2	1	1	4	6	−4	1	5	4	−1	−5	11	16	20	+4	31	33	−2
−26	0	1	4	3	4	1	3	1	5	2	3	2	+3	7	4	0	−4	+12	26	14	10	−4	36	27	+9
−29	2	1	2	1	0	2	2	0	0	1	1	0	0	3	3	7	+4	−1	10	11	12	+1	22	22	0
−32	2	2	0	2	0	0	1	1	0	0	1	3	+2	5	3	4	+1	0	9	9	12	+3	21	19	+2
−35		0	2	0	0	0	0	1	0	3	1	1	0	2	2	4	+2	−2	5	7	9	+2	14	13	+1
−38		0	3	0	0	0	0	1	2	1	0	0	+1	2	1	2	+1	+2	7	5	4	−1	11	10	+1
−41		0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	2	0	1	1	1	0	−2	2	4	5	+1	7	7	0
−44		0	1	0	0	2	1	0	0	3			−1	0	1	0	−1	−1	2	3	5	+2	7	5	+2
−47		1		1	1		0		1	1			−1	0	1	0	−1	0	2	2	3	+1	5	3	+2
−50							1		0	0			0	0		0	0	0	1	1	0	−1	1	2	−1
−53									1				+1	1		0	0	+1	2	1	0	−1	2	2	0
−56																1	+1	−1	0	1	1	0	1	1	0
−59																								1	−1
	50		80		59		40		80		60		150					519							
	Rev.		Rev.		Rev.		Rev.		Rev.		Rev.		Rev.												
	+0,0345		+0,0397		+0,0296		+0,0465		+0,0479		+0,0452		+0,0421					Rev.							
	0,0175		0,0185		0,0170		0,0213		0,0221		0,0191		0,0194					0,0193							
	0,0118		0,0125		0,0115		0,0144		0,0149		0,0129		0,0131					0,0130							
	0,0025		0,0021		0,0022		0,0033		0,0024		0,0024		0,0016					0,0008							

Digitized by Google

fälligkeiten ausscheiden. So entstand beim langsamen Einstellen eine Reihe von 480, beim schnellen von 519 Einstellungen. Die Ergebnisse sind als Serie 8 resp. 9 in den Tabellen II resp. III niedergelegt, die graphische Darstellung in den Figuren 1 resp. 2. Bei diesen Serien geben die drei letzten Kolonnen außerdem die Summe der positiven und negativen Fehleranzahl für Beobachtung B und Rechnung R, sowie die Differenzen $B—R$. In den Figuren ist auf der Abszissenachse der Betrag der Fehler, auf der Ordinatenachse deren Anzahl aufgetragen. Der punktierte Linienzug stellt die positiven, der gestrichelte die negativen Fehler dar, während die ausgezogene Kurve die Gaußsche Fehlerkurve darstellt.

Zu den Tabellen sei noch bemerkt, daß die Fehlerwerte „Null“ zu gleichen Teilen auf die positive und negative Gruppe 0—2 verteilt sind, daher entstehen dort mitunter die Bruchteile, die von ungerader Anzahl der Nullwerte herrühren. Die nach Gauß berechnete Fehleranzahl wurde in den Tabellen stets auf ganze Zahlen abgerundet.

Um bei diesen Reihen, wo jede Serie nur in einer Prismenstellung beobachtet wurde, dennoch für jede Serie einen Wert c zu erhalten, wurde am Anfang und am Ende jeder Serie mit dem Mikroskopfaden auf die Ränder des Intervalls pointiert und durch eine größere Anzahl solcher Einstellungen ein hier genügend genauer Wert für die wahre Mitte ermittelt. Die Differenz aus dem Mittel einer Serie von Beobachtungen, d. i. die scheinbare Mitte, und der wahren Mitte liefert dann also hier c.

§ 3. Die Diskussion der Beobachtungen.

1. Die Fehler in Größe und Richtung. Die Diskussion der Beobachtungen sei mit dem systematischen Fehler c, und zwar an den direkten Ergebnissen der Beobachtungen begonnen. Die nach einer Fehlerfunktion ausgeglichenen Werte werden allerdings einzelne Erscheinungen klarer hervortreten lassen, da hierbei manches Zufällige schon eliminiert ist, die direkten Beobachtungswerte hingegen stellen das Ursprünglichere dar und sind daher in erster Linie zum Diskussionsmaterial berufen.

Es zeigt sich zunächst, daß die Richtung des systematischen Fehlers c bei allen Reihen dieselbe ist wie bei meinen früheren Beobachtungen; ich verlege also unabhängig vom benutzten Auge und von der Einstellart die scheinbare Mitte von der wahren Mitte aus bei horizontalen Halbierungen nach rechts, bei vertikalen nach oben. Es sei hier noch erwähnt, daß in einer Arbeit von Noetzli[1]) dieser auch mit dem von ihm benutzten rechten Auge bei horizontalen und vertikalen Halbierungen in derselben Richtung falsch biseziert.

Um die Größenänderung der beiden Fehlerwerte c und v in meinen jetzigen Reihen gegenüber den früheren zu erkennen, reduziere ich eine der Reihe 1 gleichartige frühere Reihe auf dieselbe Vergrößerung wie jene. Diese frühere Reihe[2]) liefert dann folgendes Täfelchen:

l	c	v
0,036	0,0009	0,00067
048	9	79
084	8	59
104	18	50
125	24	72
197	32	88
279	42	50
311	43	57

[1]) Untersuchungen über die Genauigkeit des Zielens mit Fernrohren. Dissertation Zürich 1915.

[2]) Reihe 29 aus (1a).

Digitized by Google

Dieses zeigt, daß auch die Größenordnung von c für alle Intervallgrößen gegen früher bei den neuen Versuchen dieselbe geblieben ist.

Später zu besprechende Versuche von Merkel geben, wie hier nur kurz erwähnt sei, für binokulares Sehen einen systematischen Fehler der gleichen Richtung wie bei mir und auch von etwa derselben Größenordnung; dasselbe gilt für die Größenordnung von c bei Noetzli.

(Fortsetzung folgt.)

Bericht über die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1923.

Allgemeines.

Am 1. Oktober 1923 ist die Reichsanstalt für Maß und Gewicht (frühere Normal-Eichungskommission) der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt als Abteilung I für Maß und Gewicht eingegliedert worden, wobei die bisherige Abteilung I für Optik die Bezeichnung Abteilung IV erhalten hat. Fortan wird also die Physik in allen ihren Zweigen in unserer Anstalt vertreten sein Durch diese Verschmelzung hat unsere Anstalt einen erheblichen Personalzuwachs erfahren, der hoffentlich durch die Abbauverordnung nicht gar zu weitgehend wieder aufgehoben werden wird. Das bisherige Präzisionsmechanische Laboratorium ist unter der Bezeichnung „Laboratorium für Feinmechanik und Akustik" der neuen Abteilung I, die Werkstatt und die Chemische Gruppe der früheren Reichsanstalt für Maß und Gewicht der Hauptwerkstatt bzw. dem Chemischen Laboratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt eingegliedert worden. Auch der Bürodienst und die Bibliotheksverwaltung ist einheitlich gestaltet. — Über die Tätigkeit der neuen Abteilung I wird im folgenden nur ganz kurz berichtet werden, weil sie ja nur zu einem kleinem Teil in die Zeit des Gemeinschaftsbetriebes fällt und auch während der wenigen Monate nach der Verschmelzung durch die Arbeiten der Umorganisation gestört war. — Über die jetzige Personalverteilung gibt der Anhang 2 Auskunft.

Der ziemlich kostspielige Betrieb des störungsfreien Laboratoriums auf dem Telegraphenberge bei Potsdam ist, da für dieses zur Zeit keine dringenden Aufgaben vorliegen, bis auf weiteres eingestellt worden.

Abteilung I.

Allgemeines.

Die Aufgaben der Abteilung I gründen sich auf die §§ 2, 4, 19 und 20 der Maß- und Gewichtsordnung vom 30. Mai 1908. Nach § 2 und § 4 liegt ihr ob, die deutschen Prototype des Meter und des Kilogramm aufzubewahren und den Anschluß des deutschen Maßes und Gewichts an die Prototype sicher zu stellen. Nach § 19 und § 20 hat sie die technischen Vorschriften für das Eichwesen zu erlassen und die technischen Bedingungen für die Eichfähigkeit der Meßgeräte und deren Zulassung zur Neueichung und Nacheichung festzusetzen.

Demnach sind für sämtliche in den Rahmen der Maß- und Gewichtsordnung fallenden Gattungen von Meßgeräten folgende Arbeiten auszuführen: Die Bestimmung und Instandhaltung der Normale der Abteilung I und die Überwachung der Normale der Eichbehörden; die Ausarbeitung der Vorschriften für die Eichung der Meßgeräte; die Zulassung neuer Meßgeräte zur Eichung; die Prüfung von Meßgeräten; Untersuchungen zur Fortbildung der metronomischen Technik und Wissenschaft.

Unterabteilung Ia.

1. Eichgebührenordnung[1]).

Die seit längerer Zeit vorbereitete systematische Neugestaltung der Eichgebührenordnung ist abgeschlossen. Der zu Anfang des Jahres 1923 aufgestellte Entwurf, der bereits den Länder-

[1]) Meyer.


Digitized by Google

regierungen vorgelegen hat, ist nunmehr nach Einfügung der Gebühren für die inzwischen neu hinzugekommenen Gattungen eichfähiger Geräte und nach Berichtigung der Gebühren für die Faßeichung fertiggestellt, so daß das Inkrafttreten der neuen Eichgebührenordnung in der nächsten Zeit zu erwarten ist.

2. Nacheichung[1]). Die im öffentlichen Verkehr zum Messen und Wägen benutzten Maße und Meßwerkzeuge, Gewichte und Waagen müssen nach § 11 der Maß- und Gewichtsordnung innerhalb bestimmter Fristen nachgeeicht werden. Die Fristen sind im allgemeinen auf 2 Jahre bemessen; für einzelne Gattungen, nämlich Waagen für eine Höchstlast von 3000 kg und darüber, festfundamentierte Waagen sowie Fässer für Wein und Obstwein, besteht eine Nacheichungsfrist von 3 Jahren. Aus den Kreisen der Landwirtschaft ist vor einiger Zeit eine Erweiterung der Nacheichungsfristen insbesondere kleinerer Waagen und der Gewichte gewünscht worden. Auf Grund von Ermittelungen über die Beschaffenheit der im Verkehr befindlichen Meßgeräte, die gelegentlich der Nacheichungen im Frühjahr 1923 angestellt worden sind, ist die Vollversammlung der Reichsanstalt für Maß und Gewicht in ihrer letzten Tagung zu der Überzeugung gelangt, daß in eichtechnischer Beziehung eine Verlängerung der Nacheichungsfristen zu einer Verschlechterung des bestehenden Zustandes führen müsse, so daß sie vom eichtechnischen Standpunkt einer Abänderung des § 11 der Maß- und Gewichtsordnung nicht das Wort reden könne. Die Angelegenheit ist sodann vom Reichswirtschaftsministerium auf Grund einer Besprechung mit Vertretern der Länder mit selbständigem Eichwesen dahin entschieden worden, daß mit Rücksicht auf finanzielle und wirtschaftliche Gesichtspunkte eine Verlängerung der Nacheichungsfristen unter Zurücksetzung der eichtechnischen Bedenken erforderlich sei. Die Abteilung I hat den Auftrag erhalten, eine entsprechende Verordnung vorzubereiten.

3. Neudruck der Eichordnung[2]). Da die zahlreichen Änderungen der Eichordnung vom 8. November 1911, die in Reichsgesetzblättern und in den Mitteilungen veröffentlicht sind, eine neue Zusammenfassung der geltenden Bestimmungen erforderlich machten, ist ein Neudruck der Eichordnung veranstaltet worden (Anhang 1, Nr. 5).

Unterabteilung Ib.

4. Eichpflicht für Fässer für Trinkbranntwein[3]). Über die Einführung der Eichpflicht für Fässer für Trinkbranntwein sind auf Wunsch des Reichswirtschaftsministeriums einige beteiligte Verbände zu einer Äußerung aufgefordert worden; wenn auch Bedenken gegen die Eichpflicht geltend gemacht worden sind, wird diese Angelegenheit weiter zu behandeln sein, ein Verordnungsentwurf ist ausgearbeitet.

5. Inhaltsbezeichnung der Flaschen[3]). Für die Frage der Inhaltsbezeichnung der Flaschen ist ein Rahmengesetzentwurf vorbereitet worden, der zunächst dem Reichswirtschaftsministerium und dem Reichsministerium des Innern vorgelegt werden soll.

6. Einführung der Temperatur 20° C in die Eichordnung[3]). Die Frage der Einführung der Normaltemperatur 20° in die Eichordnung ist in Angriff genommen.

7. Mitteilungen der Reichsanstalt für Maß und Gewicht[4]). Von den „Mitteilungen der Reichsanstalt für Maß und Gewicht" (künftig „Mitteilungen der PTR., Abteilung I für Maß und Gewicht") sind in der Zeit vom 1. Oktober 1923 ab die beiden Nummern 6 und 7 des Jahrganges 1923 erschienen (Anhang 1, Nr. 4).

Laboratorium Ic.

8. Übersicht über die Prüfungsarbeiten[5]). Es wurden geprüft und gemessen:

211 Endmaße ersten Ranges,
10 Paar Endmaße mit schneidenförmigen Enden,
5 Strichmaßstäbe mit Einteilung,
2 Bandmaße mit Einteilung,
2 Schublehren mit Einteilung,
6 Trägheitszylinder,
7 Wärme-Ausdehnungskoeffizienten,
32 Durchmesser von Kugeln,
2 Dicken von Folien bei verändertem Meßdruck,
zusammen 277 Gegenstände.

---

[1]) Meyer. [2]) Meyer, Schönherr, Blum. [3]) Stadthagen. [4]) Stadthagen, Baßler.
[5]) Kösters, Lanzrath, Kornatz, Lampe, Conrat, Hoffmann.

Digitized by Google

9. Urmaß[1].

Das Meter-Urmaß Nr. 18 des Deutschen Reiches, das sich seit 2 Jahren zu einer der vorgeschriebenen regelmäßigen Vergleichungen mit dem internationalen Urmaß beim Internationalen Bureau in Paris befand, ist Anfang Oktober nach Berlin zurückgebracht worden. Nach diesen Vergleichungen ist entsprechend einer vorläufigen Mitteilung des Internationalen Bureaus die Länge bei 0°:

$$\text{Urmaß}_{18} = 1 \text{ m} - 1{,}53\,\mu;$$

in den früheren Bestimmungen betrug der Fehler des deutschen Urmaßes bei 0°: $-1{,}0\,\mu$ und $-1{,}72\,\mu$.

Es sind nunmehr sogleich folgende Arbeiten zu beginnen:

1. Neubestimmung[2]) der Urmaßkopien von 1 m Länge von Ss, Bs und eines neu beschafften Stahlstabes 1. Ranges, dessen Teilung auf 20° justiert wird.

2. Eine vollständige Neuaufstellung[6]) der Bandmaßnormale einschließlich der Zwischennormale von 4 m Länge, S_4 aus Stahl und J_4 aus Nickelstahl. Ein neues Bandmaßnormal von 30 m Länge ist seit einiger Zeit beschafft, dessen Teilung ebenfalls für 20° eingerichtet wird. Neubestimmung der Band- und Drahtnormale aus Nickelstahl.

3. Anschluß[1]) des Urmaßes Nr. 18 an die Wellenlänge der roten Kadmiumlinie 643,8 mμ und andere scharfe und einfache Linien (Krypton). Der Plan für die Art der Vergleichung steht im wesentlichen fest, die Instrumente müssen noch beschafft werden. Es ist beabsichtigt, die Bestimmung über Endmaße als Zwischenetalons auszuführen. Eine Durchmusterung verschiedener Linien zeigt, daß die gelbgrünen Kryptonlinien noch bei 20 cm Gangunterschied scharfe Fizeaustreifen ergeben.

10. Parallelendmaße[3]).

Nachdem nunmehr der zweite Interferenzkomparator durch Einbau eines Dispersionsprismas für die direkte Messung von Endmaßen in Wellenlängen eingerichtet ist, werden sämtliche zur Prüfung eingesandte Parallelendmaße 1. Ranges in Wellenlängen ausgewertet. Diese Prüfung ist einfacher, zuverlässiger und genauer als die Bestimmung über Stahlnormale.

11. Wärme-Ausdehnungsbestimmung von Endmaßen[4]).

Da gute, helle, scharfe Linien einfacher Erzeugungsart selten sind, so ist man bei Ausdehnungsbestimmungen längerer Endmaße häufig auf die Benutzung einer einzigen Wellenlänge angewiesen. Es wurde ein neues Verfahren ausgearbeitet, mit einer Linie diese Ausdehnungsbestimmungen von Endmaßen durchzuführen. Durch leichtes Verändern der Temperatur wird zunächst ein Näherungswert für die Ausdehnung bestimmt und mit diesem auf die Ordnungszahl der Streifen bei größeren Temperaturveränderungen extrapoliert. Um eine Übersicht über die Ausdehnungskoeffizienten der gebräuchlichen Endmaße zu gewinnen, werden seit kurzem von jedem eingesandten Satz 1 bis 2 Endmaße auf Wärmeausdehnung untersucht. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, daß recht hohe Ausdehnungskoeffizienten vorkommen (bis $13{,}7 \cdot 10^{-6}$). Der kleinste bisher gefundene Wert war $11{,}3 \cdot 10^{-6}$.

12. Endmaße mit kugelförmigen und zylindrischen Maßflächen[5]).

Für die Reduktion der Länge dieser Endmaße auf verschiedenen Meßdruck ist es notwendig, die Zusammendrückung bei der Berührung von Kugel, Zylinder und ebener Fläche untereinander zu bestimmen.

13. Strichmaße[6]).

Zur Bestimmung von Strichmaßen in Wellenlängen ist an der Repsoldschen Teilmaschine eine von der Werkstatt der Abt. I gebaute Zusatzeinrichtung angebracht, die gleichzeitig zur Prüfung der Zylinderführung dient.

14. Bandmaße[6]).

Der Bandmaßkomparator hat eine Kollimationseinrichtung erhalten, die gestattet, auf der 30 m langen Bahn den Mikroskopschlitten mit höchster Genauigkeit parallel zu führen.

Die Justiertemperatur von 20° für Maße (Normblatt 102 des Normenausschusses der deutschen Industrie) führt sich gut ein. Justierungen für andere Temperaturen kommen nur noch äußerst selten, bei Endmaßen garnicht mehr vor. Auch die geodätischen Kreise in Deutschland haben auf eine Rundfrage sich für 20° erklärt. Ebenso liegen die Verhältnisse auf dem Gebiet der typographischen Maße. Im Eichwesen werden z. Z. Vorbereitungen zur Einführung von 20° getroffen.

[1]) Kösters. [2]) Thomas, Kreuter.
[3]) Kornatz, Lampe, Langbein, Hoffmann.
[4]) Kösters, Kornatz, Lampe, Hoffmann. [5]) Kornatz, Lampe. [6]) Kösters.

Digitized by Google

15. Normale und Instrumente[1]). Es wurden beschafft: Ein Satz Parallelendmaße 1. Ranges (103 Stück, teilweise geliefert). Geplant wird die Anschaffung:

1. einer Teilmaschine[1]) zur Bestimmung von Stricheinteilungen nach strengem Substitutionsprinzip mit Verschiebung der Stäbe. Die Zeichnung der neuen Maschine liegt vor.

2. eines Komparators zur schnellen Vergleichung von Endmaßen zweiten Ranges und von längeren Endmaßen.

Laboratorium Id.

Vgl. den Bericht über die Tätigkeit des Präzisionsmechanischen Laboratoriums S. 127—129.

Laboratorium Ie.

16. Nachprüfung der Normalgewichtssätze der Reichsanstalt[2]) Die Nachprüfung folgender Sätze wurde zu Ende geführt:

a) Gewichtssatz Westphal (500 g bis 1 mg).

b) Gewichtssatz Nr. 1 (500 bis 0,5 mg).

c) Gewichtssatz Nr. 34 (1000 g bis 0,5 mg).

17. Laufende Prüfungen[3]). Die von einem Gewichtsfabrikanten beantragte Prüfung von 2 analytischen Gewichtssätzen von 100 (50) g bis 1 mg wurde nach dem Gaußschen Verfahren durch Vergleichung mit einem Normalsatz ausgeführt[3]).

Ferner wurden in gleicher Weise die Massen von 6 Trägheitszylindern aus vergoldetem Messing für horizontal schwingende Magnetstäbe bestimmt.

18. Bau einer Normal-1 kg-Waage[3]). Für den Bau der 1 kg-Waage sind die Zeichnungen in Hauptansicht und Grundriß fertiggestellt. Die Anfertigung einiger Schnittzeichnungen (Arretierung, Gehänge, Waagebalken) ist noch erforderlich. Für die Herstellung der Gußstücke sind bereits 13 Holz- und Metallmodelle angefertigt; von diesen sind bis jetzt 9 Gußstücke hergestellt worden.

19. Getreideprober[4]). Mit den Vorbereitungen für die im Frühjahr 1924 geplante allgemeine Nachprüfung der im Deutschen Reiche in Betrieb befindlichen 20 Liter-Getreideprober wurde begonnen.

Laboratorium If.

20. Handelswaagen[5]). Die Einführung von Neigungswaagen hat im laufenden Jahre große Fortschritte gemacht. Es sind der Vollversammlung zur endgültigen Genehmigung 4 verschiedene Systeme vorgelegt worden, 6 weitere Systeme befinden sich teils in der praktischen Erprobung (in eichpflichtigen Betrieben), teils in der Voruntersuchung im Laboratorium. Ferner sind Waagen, bei denen Gegengewichte, die mit der Waage dauernd verbunden sind, mittels mechanischer Vorrichtung bedient werden, zugelassen. Der Probezustand einer dieser Waagen ist beendet, eine Anzahl anderer Modelle befindet sich im Erprobungszustand. Auch eine Laufgewichtswaage mit mechanischer Bedienung ist erprobt. Die Erprobung hat zu wesentlichen Verbesserungen geführt, kann aber noch nicht als abgeschlossen gelten. Die Vorschriften der Eichordnung, welche durch diese Abänderungen bedingt wurden, sind erlassen. Die Instruktionsvorschriften für die Prüfung der Neigungswaagen befinden sich im Druck.

21. Waagen für besondere Zwecke[5]). Es sind 4 Systeme selbstätiger Balkenwaagen erprobt und teilweise zugelassen. Die Vorschriften sind besonders mit Rücksicht auf die Einrichtung des Nachstromreglers verbessert. Eine von theoretischen Gesichtspunkten ausgehende Untersuchung der selbsttätigen Balkenwagen ist im Gange.

Die selbsttätigen Laufgewichtswagen werden noch immer in geringem Maße verwendet. Eine Umfrage bei den Eichbehörden hat ergeben, daß jedenfalls eine größere Verwendung in den nächsten Jahren nicht zu erwarten ist, doch liegt ein neuer Antrag auf Abänderung der Vorschriften (schleichendes Zählwerk anstatt des springenden) vor.

Bei den Wagen zum Eisenbahn- und Postgebrauch, sowie bei den Präzisionswagen sind nennenswerte Änderungen nicht eingetreten.

---

[1]) Kösters.
[2]) Wölfer, Schultze, Roerdansz, Lenk.
[3]) Zingler. [4]) Schultze.
[5]) Felgentraeger, Schönherr, Drewitz, Blum.

Digitized by Google

Laboratorium Ig.

22. Laufende Prüfungen[1]).

In dem Laboratorium werden nur noch solche Aräometer geprüft, denen die Eigenschaften von Normalen zukommen, für die daher besondere Genauigkeit (0,01 % oder 0,00001 des spez. Gewichts) gefordert wird. Für die meisten dieser Instrumente sind Angaben für sämtliche Teilstriche nötig. Alle übrigen Aräometer werden an zuständige Eichämter abgegeben.

Geprüft wurden:

12 Alkoholometer, davon 8 für das Reichsmonopolamt,
2 Saccharimeter,
4 Aräometer für Mineralöle für das ungarische Zentral-Maß- und Gewichtsamt
10 Seewasseraräometer, darunter 4 Senkaräometer nach Nansen,

zusammen 28 Apparate.

Am umfangreichsten war die Arbeit der Nachprüfung der Gebrauchsnormalalkoholometer, die seit 1890 nicht mehr mit den Hauptnormalen verglichen waren. Die Abweichungen gegen die früheren Prüfungen von 1890 blieben fast durchweg innerhalb der Fehlergrenze. Das gilt für die 2 Sätze (zu je 4 Spindeln) Alkoholometer der Abt. I, wie für die 4 Sätze (zu ebenfalls 4 Spindeln) der Eichämter. Die Prüfung weiterer 6 Sätze (für Berlin, Ilmenau, Gehlberg, München) ist noch im Gange.

23. Untersuchungen über Wulstgewichte[2]).

Viele wässerige Lösungen (niedrig prozentige Alkohole, Zucker, Schwefelsäure, Salze) benetzen Glas schlecht und unregelmäßig. Infolgedessen muß man Aräometer in anderen Flüssigkeiten mit guter Benetzung (Mischungen von Alkohol mit Glyzerin oder mit konzentrierter Schwefelsäure, Harzölen, Tetralin, Dekalin) prüfen und die Ergebnisse auf den Fall umrechnen, daß die Aräometer unter günstigen Bedingungen (Reinigung und Befeuchtung des Stengels mit Alkohol; Reinigung der Oberfläche nach Röntgen durch Überfließen oder nach Nansen durch Abstreifen mit Papier) in die sonst schlecht benetzenden Flüssigkeiten eingetaucht werden. In den beiden Fällen unterscheiden sich die Ablesungen durch die Gewichtsunterschiede, welche die am Aräometerstengel gebildeten Flüssigkeitswulste besitzen. Diese Unterschiede wurden bisher (*Metronomische Beiträge, Heft 6*) aus den Werten abgeleitet, die man für die nach der Steighöhenmethode in engen Röhren erhaltenen Kapillarkonstanten $\left(\alpha = \frac{a^2}{2}\right)$ erhielt. Erforderlich ist eine Genauigkeit von α bis auf 1 %, da z. B. bei 0 % Alkohol der Unterschied zwischen Wasser und Sulfosprit (Schwefelsäure-Alkoholmischung) 0,4 % betragen kann. Als die Haupt- und Urnormale der Alkoholometer 1916—1919 in Sulfosprit nachgeprüft wurden und die neuen Ergebnisse mit den früher in Glyzerin-Spiritus erhaltenen (siehe *Metronomische Beiträge, Heft 7*) verglichen wurden, fand man systematische Unterschiede. Diese wurden darauf zurückgeführt, daß die wahren Wulste größer waren, als die berechneten. Diese wahren Wulste wurden am sichersten an Metallringen von 4 oder 5 cm Durchmesser aus Messing und Aluminium bestimmt (über die Anordnung vgl. *Mitteilungen der Reichsanstalt für Maß u. Gewicht 1923, S. 13*). Man erhält 3 verschiedene Wulstgewichte unmittelbar hintereinander (A: beim Anspringen der Flüssigkeit; M: das Maximum kurz vor dem Abreißen; L: die Spannung bei der Bildung der Lamelle, die bei einigen mehr klebenden Flüssigkeiten sich bildet und einer Seifenblase ähnelt). Aus allen 3 Werten — am genauesten aus den M-Werten bei Benutzung der von Dr. Hartmann streng abgeleiteten Formeln — läßt sich ein Wert für α bestimmen. Dieser wurde mit demjenigen verglichen, den man aus den Hyperbeln am Plattenapparat (L. Grunmach: *Verhandl. d. Phys. Ges.* **12**. *S. 847. 1910; Physikal. Zeitschr.* **11**. *S. 980. 1910*; *Wiss. Abhandl. der Normaleichungskommission* **9**. *1917*) erhielt. Beide Methoden stimmten bis auf mindestens 1 % überein; der Mittelwert wich, wie lange Versuchsreihen zeigen, systematisch ab von dem nach der Röhrenmethode erhaltenen α.

Für die konzentrierte Schwefelsäure (spez. Gew. 1,838) ergab die Methode des maximalen Wulstes $\alpha = 3{,}176$, des Plattenapparates 3,161; die Röhrenmethode (für das spez. Gewicht 1,845) 3,120. Quincke (*Pogg. Ann.* **160**. *S. 337. 1877*) gibt für das spez. Gewicht 1,837 den Wert 3,26 (Steighöhen in Röhren) und 3,13 (Luftblasen) an.

---

[1]) Bein, Zipler. [2]) Bein, Hartmann, Zipler.



Die Abweichungen zwischen der Röhrenmethode und der Methode des maximalen Wulstes erreichen ein Maximum von 0,31 (5% des Wertes von α) bei etwa 5% Alkohol und von 0,36 (12% des Wertes von α) beim Sulfosprit vom spez. Gewicht 1,74. Diese Unterschiede beruhen auf Entmischung. Letztere ist größer in Röhren, in denen ein Ausgleich der Konzentrationen schwierig ist. In engeren Röhren findet man daher für Lösungen auch vielfach andere Werte, als in weiteren Röhren. Sulfosprit ist nach den Untersuchungen von Zaitschek, Hantsch, Kailan und Kremann, ein Gemisch von Äthylschwefelsäure mit Alkohol und Schwefelsäure. Die Schwefelsäure bindet etwaiges freies Wasser zu dem Monohydrat (H_2SO_4, H_2O). Es entsteht — allerdings nur langsam — ein chemisches Gleichgewicht. Ein Teil der Unterschiede der α-Werte läßt sich vermutlich dadurch erklären, daß früher frischer, jetzt sehr alter Sulfosprit untersucht wurde.

24. Dicke der Lufthaut[1]).

Bei vielen physikalischen Beobachtungen (Längen von Endmaßen, Masse von Gewichten, Volumen von Schwimmern und Hohlmaßen, z. B. von Kapillarröhren bei Füllung mit Quecksilber für elektrische Widerstände) entsteht eine Unsicherheit bei den Messungen dadurch, daß man über die Dicke der die Oberfläche bedeckenden Luftschicht nichts Sicheres weiß. Ph. A. Guye gibt nach Adsorptionsversuchen 5 μ an; einen viel kleineren Wert, nämlich die Dicke von 5 Molekularschichten findet Haak (*Physica 3. S. 12. 1923*) aus Reflektionsbeobachtungen am Babinetschen Kompensator. Langmuir kommt durch Versuche über elektrische Entladung zu Schichten von molekularer Dicke, also zu Dicken, wie sie Häute von Ölsäure (1 millionstel mm) haben, die bereits die Einstellung eines Aräometers um mehrere Millimeter ändern.

Gelegentlich der Ermittlung der Wulstgewichte an Ringen wurde gefunden, daß die Größe der Wulste davon abhängt, ob eine Lufthaut vorhanden ist. Erhitzte man dünne Platten aus Glas, dünne Ringe oder Scheiben aus Messing auf einige hundert Grad, so verschwand die Lufthaut. Brachte man die Flüssigkeit unmittelbar nach dem Erhitzen mit diesen Körpern in Berührung, so sprang zwar der Wulst glatt an; aber er war vielfach zu klein. Es hatte sich ein Randwinkel gebildet. Sobald aber wieder eine Lufthaut den Körper überzogen hatte, fehlte der Randwinkel.

Über die Dicke der Lufthaut wurden besondere Versuche angestellt. Es wurde die Länge von 660 bis 700 mm langen Fäden aus Quecksilber in Kapillaren von 1 mm Weite in Luft und im Vakuum vor und nach dem größtmöglichen Erhitzen bis zum Erweichen der Röhren miteinander verglichen. Das Quecksilber wurde vor dem Erhitzen in eine Erweiterung der Röhre übergefüllt. In keinem Falle überschritten die Längenänderungen des Fadens Beträge größer als die Beobachtungsunsicherheit von einem Zehntel Millimeter. Danach kann zwischen Quecksilber und Glas eine Lufthaut von höchstens wenigen hundertstel μ sich befinden. Das stimmt auch mit den Erfahrungen an Endmaßen überein.

Laboratorium Ih.

25. Zulassung von Gasmessern zur Eichung. (Systemprüfungen)[2]).

Es wurden zugelassen

a) probeweise: der Firma Julius Pintsch A. G., Berlin, Gasmesser System I für 200 mm W. S. Überdruck mit Injektionsvorrichtung zum selbsttätigen Nachfüllen,

b) endgültig durch Bekanntmachung (*Mitt. 1923, Nr. 7*):

1. trockene Gasmesser mit nach unten gerichteten Anschlußstützen,
2. Gasmesser System Va mit Gehäuse von viereckigem Querschnitt,
3. der Firma Georg Kromschröder A. G., Osnabrück, Münzgasmesser mit Automatenwerk,
4. der Firma J. Braun & Co., Stuttgart, desgl.

Für Münzgasmesser mit Automatenwerk der Firma Friedrich Heise, Berlin, sowie für Gasmesser mit automatisch schließendem Ventil und Gasverkäufer der Firma E. Kiesewetter & Co., Berlin, wurde die probeweise erfolgte Zulassung zurückgezogen, weil die Firmen solche Gasmesser zurzeit nicht mehr herstellen.

26. Arbeiten über [Gas]messer[2]).

Die schwebende Frage, ob für große nasse Gasmesser die Eichfehlergrenze von 2 auf 1% herabgesetzt werden könnte, und wie in Verbindung damit das instruktionsmäßige Verfahren der Prüfung solcher Gasmesser zu ändern sein würde, wurde weiter verfolgt.

[1]) Bein. [2]) Weymann.



Es wurden Erhebungen darüber angestellt, ob nicht die Instruktionsbestimmungen über den Betriebswiderstand der Gasmesser, wonach keiner der für den Druckverbrauch eines Gasmessers beobachteten Werte die zulässige Höchstgrenze überschreiten soll, dahin abzuändern ist, daß nur das **Mittel** aus den während einer Periode des Gasmessers beobachteten Werten des Druckverbrauchs die Grenze innezuhalten braucht, falls die Abweichungen von diesem Mittel über gewisse, noch festzusetzende Grenzen nicht hinausgehen.

Durch Bekanntmachung entsprechender Zusätze und Erläuterungen zur Instruktion wurde

a) das Verfahren der Zulassung und Prüfung von Münzgasmessern neu geregelt,

b) die Mindestentleerungsdauer der Glocken von Kubizierapparaten von 3 Minuten auf 1 Minute herabgesetzt. (*Mitt. 1923, Nr. 7.*)

Um Eichämter erforderlichenfalls bequemer und billiger in den Stand zu setzen, Gasmesser prüfen zu können, wurde besonders im Hinblick auf die möglicherweise bevorstehende Einführung der Nacheichung der Gasmesser der Plan zur Beschaffung und Erprobung einer einfachen, auf Reisen mitführbaren Ausrüstung zur Prüfung von Gasmessern entworfen.

27. Strömungsmesser als Gasmesser[1]) *und als Wassermesser*[2]).

In Fortsetzung früherer Versuche wurde ein Strömungsmesser mit Schweberohr mittels des Kubizierapparates daraufhin untersucht, ob seine Anzeigen der Hubhöhe des Schweberohrs proportional sind, was sich bei diesem Versuchsapparat bestätigte. Zweck der Versuche ist festzustellen, ob derartige Strömungsmesser in Verbindung mit einem integrierenden Zählwerk geeignet sind, für die Messung großer Gasmengen die Großgasmesser gebräuchlicher Art zu ersetzen, wonach wegen deren unbequemer Größe und Kostspieligkeit ein dringendes Bedürfnis besteht.

Die Versuche mit einem neuen Strömungsmesser, der dazu dienen soll, den Verlauf des täglichen Wasserverbrauchs in Wohnhäusern hauptsächlich kleinerer Städte graphisch aufzuzeichnen, wurden fortgesetzt. Es wurden die drei Hauptbestimmungsstücke, von denen die Angaben des Strömungsmessers abhängen, das Standrohr, das Schweberohr und das Umschlußrohr nach einander variiert, um die günstigsten Bedingungen für den Meßapparat zu ermitteln. Gleichzeitig ist an einer Theorie des Apparates gearbeitet worden.

28. Meßwerkzeuge für Flüssigkeiten[3]).

Für die in Abschnitte zu $^1/_4$ Liter geteilten Meßwerkzeuge aus Glas von einem Gesamtraumgehalt von 5 Liter und weniger wurden Vorschriften ausgearbeitet und in der von der Vollversammlung genehmigten Fassung als Ergänzung zur Eichordnung bekannt gemacht. (*Mitt. 1923, Nr. 6*).

Nach Beendigung der Vorarbeiten wurden durch Beschluß der Vollversammlung die Meßgefäße für Obstmost usw. (Herbstgefäße) in den Rahmen der Eichordnung eingefügt und über Material, Gestalt, Einrichtung, Bezeichnung usw. Vorschriften erlassen und bekannt gemacht. (Mitt. 1923, Nr. 6.)

Milchmeßgefäße mit Abstichstab für Sennereien wurden für eichfähig erklärt und durch Bekanntmachung von entsprechenden Vorschriften in die Eichordnung eingefügt.

29. Eichamtliche Behandlung der Dosiermaschinen[2]).

Über die Dosiermaschinen, d. s. in Paketiermaschinen eingebaute Meßmaschinen, die bei der Herstellung verkaufsfertiger Packungen dazu benutzt werden, bestimmte Gewichtsmengen durch Raummessung abzuteilen, war der Vollversammlung eine ausführliche Denkschrift vorgelegt worden. Es wurde daraufhin beschlossen, der Reichsregierung eine vorläufige Regelung der Angelegenheit vorzuschlagen. Demgemäß ist dem Reichswirtschaftsministerium berichtet worden.

Werkstatt.

30. Arbeiten der Werkstatt[4]).

An größeren Arbeiten wurden ausgeführt: Anfertigung mehrerer Versuchs-Strömungswassermesser, Bau eines Apparates zur Prüfung von Normalthermometern, Untersuchungen und Umänderungen einer von der Eichungsdirektion Berlin eingereichten Eichamtswaage, Ergänzungen an den Interferenzapparaten für Endmaßprüfungen, Herstellung eines Normal-Etalons von 10 mm Länge für Anschluß an Lichtwellenlängen.

[1]) Zingler, Weymann. [2]) Zingler. [3]) Bott. [4]) Thomas.

Digitized by Google

Abteilung II.

Unterabteilung IIa.

31. Hochfrequenztelephon [1]).

Die Versuche zur Verbesserung der Empfangsschaltungen wurden fortgesetzt und durch Bau eines verbesserten Kondensatortelephons ergänzt.

32. Kondensator u. elektr. Ventil im Wechselstromkreis [2]).

Die Untersuchung wurde im Sommer anderer Arbeiten wegen unterbrochen. Soweit sie fertiggestellt ist, wird sie jetzt veröffentlicht.

33. Astatische Nadelgalvanometer [3]).

Die astatischen Nadelsysteme besitzen im allgemeinen noch ein kleines, im homogenen Erdfeld wirksames magnetisches Moment, das z. T. von der Ungleichheit der Nadelmomente, z. T. von dem Winkel herrührt, den die Nadeln miteinander bilden. Es ist nun mit Erfolg versucht worden, dieses für die Störungsfreiheit des Systems schädliche Moment durch Hilfsmagnete zu beseitigen, was in verschiedener Weise geschehen kann. Nach diesem Prinzip sind ältere Galvanometer umgebaut und neue Instrumente konstruiert worden, wobei gleichzeitig von dem neuen Gumlich-Kruppschen Magnetmaterial Gebrauch gemacht wurde. Auch Systeme, die gegen inhomogene Felder weitgehend geschützt sind, wurden unter Verwendung dreier Magnete hergestellt. Es hat sich später herausgestellt, daß ein DRP. 92103 (Klasse 21e) der Firma Siemens & Halske vom Jahre 1896 dieselbe Frage behandelt; doch sind Galvanometer, die sich hierauf gründen, nicht in den Handel gekommen, vermutlich, weil der praktischen Ausführung der Kompensation Schwierigkeiten im Wege standen, die jetzt überwunden sind.

34. Untersuchungen über Gasentladungen [4]).

Die von der Industrie angeregten Untersuchungen über die physikalischen, chemischen und elektrischen Verhältnisse in den Quecksilbergleichrichtern wurden fortgesetzt.

a) Untersuchungen am Quecksilberlichtbogen.

Da die in Groß-Gleichrichtern kaum vermeidbaren Fremdgase die Gleichrichterwirkung sehr stark beeinflussen, wurde das Verhalten des Quecksilberlichtbogens bei Zusatz der Fremdgase Ar, CO_2, NH_3, N, H, O, SO_2 untersucht. Ferner wurden Messungen darüber angestellt, wie die sogenannte Zündspannung der Gleichrichter, d. i. diejenige Spannung, die bei einem in Betrieb befindlichen Gleichrichter in jedem Anodenarme im Beginn jeder Phase der Durchlässigkeit zum Einleiten des Lichtbogens erforderlich ist, vom Quecksilberdampfdruck, der Länge der Anodenarme und der Temperatur der Anoden abhängt. Die Ergebnisse sind veröffentlicht (Anhang 1, Nr. 21).

b) Untersuchung der Glimmentladung.

Nachdem durch die angegebenen Versuche die Erscheinungen in der durchlässigen Richtung der Gleichrichter genügend geklärt waren, wurde zur Untersuchung der undurchlässigen Richtung übergegangen. Die Erscheinungen in dieser Richtung sind für den Betrieb der Gleichrichter von größter Wichtigkeit, weil auf ihnen die Rückzündung, d. i. der Umschlag der Glimmentladung in einen kurzschlußartigen Lichtbogen, beruht. Die Versuche ergaben bald, daß eine Erforschung dieser Rückzündung ohne vorherige Klärung der Erscheinungen der Glimmentladung aussichtslos war. Es wurde deshalb zunächst die Glimmentladung systematisch untersucht. Die Versuche umfaßten: Die Energieverteilung an der Kathode der Glimmentladung, den Kathodenfall und die Glimmstromstärke in Quecksilberdampf, den normalen Kathodenfall an Graphit in Gasgemischen, den Einfluß der Gestalt und der Temperatur der Kathodenoberfläche auf die normale Stromdichte der Glimmentladung. Es gelang schließlich, die drei maßgebenden Größen an der Kathode, den Kathodenfall, die Stromdichte und die Dicke des Fallraumes durch einfache Formeln miteinander zu verknüpfen und auf die freie Weglänge der Moleküle des benutzten Gases, seine Ionisierungsspannung und sein Atomgewicht, sowie auf das elektrochemische Normalpotential des Kathodenmetalles zurückzuführen.

Ferner wurde eine Formel zur Berechnung des normalen Kathodenfalles in Gasgemischen aufgestellt. Aus der Abweichung zwischen den mit Hilfe dieser Formel berechneten und den in den Gemischen mehratomiger reaktionsfähiger Gase gemessenen Werten wurde geschlossen, daß der normale Kathodenfall in derartigen Gemischen durch chemische Vorgänge beeinflußt wird. Die Versuche sind veröffentlicht (Anhang 1, Nr. 28).

Ferner wurde der Begriff des Normalgradienten (d. h. des von Störungen befreiten Potentialgefälles bei der Glimmentladung) bei der selbständigen Entladung entwickelt und die Bedingungen

---

[1]) Meißner. [2]) Jaeger, v. Steinwehr. [3]) Nernst, Jaeger. [4]) Günther-Schulze.


Digitized by Google

aufgestellt, die bei seiner Messung erfüllt sein müssen. Die unter Innehaltung dieser Bedingungen gemessenen Normalgradienten erwiesen sich als sehr gering. Es ergaben sich Weglängengradienten, die zwischen 0,0277 Volt bei Neon und 0,93 Volt bei Wasserdampf lagen.

35. Über die Natur und Messung der durch Siemenssche Ozonröhren fließenden Wechselströme[1].

Der in dem vorigen Tätigkeitsbericht besprochene Unterschied in den Messungsergebnissen für den Strom durch Siemenssche Ozonröhren, je nachdem man den Strom elektrometrisch oder durch ein Thermokreuz mißt, rührt davon her, daß in jenem Strom hochfrequente Oberschwingungen enthalten sind, deren Kreisfrequenz von der Ordnung 10^6/sec ist. Diese Oberschwingungen gehen zum größten Teil als Ladungs- und Entladungsströme in die Elektrometerkapazität und die verteilte Kapazität des Meßwiderstandes hinein, an dessen Enden das Elektrometer gelegt ist; diese Kapazitätsströme entgehen dem Elektrometer, werden aber von dem Thermokreuz angegeben Man kann die Oberschwingungen von den Grundschwingungen trennen, indem man dem Meßwiderstand eine größere Kapazität (0,1—0,3 μF für Meßwiderstände über 3000 Ohm) parallel legt, in welche die hochfrequenten Oberschwingungen ganz hineingehen, während die Grundschwingung zum größten Teil als Leitungsstrom in dem Meßwiderstand fließt. Dem Teil der Grundschwingung, welcher in die parallel geschaltete Kapazität hineingeht, kann man leicht Rechnung tragen. Man findet so, daß Ohmsche und induktive Widerstände in der Erdleitung der Ozonröhre die Oberschwingungen stark schwächen, die Grundschwingung aber nicht beeinflussen; daß die Oberschwingungen um so stärker entwickelt sind, je größer die Dicke des Entladungsraumes der Ozonröhre und je kleiner die Frequenz der Grundschwingung, daß sie aber auf die Ozonbildung ohne Einfluß sind, welche nur von der Stärke der Grundschwingung abhängt. Das Thermokreuz, welches man in der Technik meist zur Strommessung bei Ozonröhren verwendet, gibt demnach zwar den ganzen Strom richtig an, doch sind seine Angaben für die Ozonbildung belanglos und bei der Bestimmung der Stromausbeute (g Ozon für die Amperestunde) muß man die Stärke der Grundschwingung in Rechnung setzen. Bei älteren diesbezüglichen Versuchen von Leithäuser und Warburg[2]) hat man den Strom elektrometrisch gemessen, ohne dem Meßwiderstand eine größere Kapazität parallel zu schalten. Diese Versuche erfordern daher eine Revision. Die Untersuchung ist veröffentlicht (Anhang 1, Nr. 67).

Die erwähnte Revision ist inzwischen vorgenommen worden. Um den bei den älteren Versuchen begangenen Fehler kennenzulernen, machte man elektrometrische Strommessungen an verschiedenen Ozonröhren und bei verschiedenen in die Erdleitung der Röhren geschalteten Widerständen, ohne und mit zum Meßwiderstand parallel geschalteter Kapazität; auch wurden Ozonbestimmungen mit den Versuchen verbunden. Bei richtiger Strommessung zeigt sich im Gegensatze zu den Ergebnissen der älteren inkorrekten Meßweise eine bemerkenswerte Unabhängigkeit der Ozonbildung von dem Widerstand der Erdleitung. Der bei der inkorrekten Strommessung begangene Fehler nimmt mit abnehmendem Widerstand der Erdleitung, mit wachsender Dicke des Entladungsraumes und mit abnehmender Frequenz der Grundschwingung zu und bewegt sich je nach diesen Bedingungen zwischen 7 und 110 Prozent. Die Werte der Stromausbeute von Warburg und Leithäuser sind um etwa 14—33 Proz. zu klein. Der Fehler ist hier nicht größer, weil man ein Multizellularelektrometer benutzte, welches nur Spannungen über 60 Volt angibt; dadurch war man genötigt, größere Widerstände in die Erdleitung aufzunehmen.

36. Untersuchungen an Metallkristallen[3]).

a) Elastische Konstanten.

An einer größeren Zahl kreiszylindrischer Einkristallstäbchen aus reinstem Zink und Kadmium von verschiedenster kristallographischer Orientierung wurden die Dehnungsmoduln mittels Transversalschwingungen, die Drillungsmoduln aus statischen Torsionsversuchen gemessen. Aus diesem reichlichen Beobachtungsmaterial wurden die je 5 Konstanten berechnet, welche das elastiche Verhalten eines hexagonalen Kristalls vollständig bestimmen. Sie sind in Tabelle 1 nach W. Voigts Bezeichnungsweise angegeben.

---

[1]) E. Warburg als Gast.

[2]) E. Warburg u. G. Leithäuser, *Ann d. Phys.* **28**. *S. 17. 1909.*

[3]) Grüneisen, Goens.

Digitized by Google

Tabelle 1.
Elastische Konstanten von Zn und Cd.

$10^{13} \times$	s_{11}	s_{33}	s_{44}	s_{12}	s_{13}	$\varkappa_{\text{ber}}$	$\varkappa_{\text{beob}}$ [1]
Zink	+ 8,0	+ 28,2	+ 25,0	− 0,5	− 6,0$_5$	+ 19,$_0$	+ 17,$_4$
Kadmium	+ 12,3	+ 35,5	+ 54,0	− 1,5	− 9,3	+ 19,$_9$	+ 22

Daneben sind die aus der Formel

$$\varkappa = 2\,(s_{11} + s_{12} + 2\,s_{13}) + s_{33}$$

berechneten Volumkompressibilitäten mit den direkt beobachteten Werten verglichen. Auch das Verhältnis μ von Querkontraktion zu Längsdilatation für einen $\parallel$ oder $\perp$ zur hexagonalen Achse orientierten Stab ergibt sich leicht aus der Tabelle. Die $\parallel$ orientierten Stäbe zeigen eine normale Querkontraktion (Zn: $\mu = 0{,}23$; Cd: $\mu = 0{,}26$), bei den $\perp$ orientierten Stäben ist μ für den Durchmesser, der in der hexagonalen Achse liegt, sehr groß (Zn 0,76; Cd 0,75), für den darauf senkrechten Durchmesser sehr klein (Zn 0,06; Cd 0,12).

Die Ergebnisse der Tabelle 1 ermöglichen eine Berechnung der Geschwindigkeiten longitudinaler und transversaler Schallwellen c_l und c_t als Funktion der Richtung im Kristall und damit eine Prüfung der Debyeschen Theorie der spez. Wärmen in der strengeren Bornschen Form. Tabelle 2 gibt die Schallgeschwindigkeiten für verschiedene Neigungswinkel φ gegen die hexagonale Achse.

Tabelle 2.
Schallgeschwindigkeiten longitudinaler und transversaler Wellen bei 20° C.

φ	Zink			Kadmium		
	c_l cm/sec	c_t Schwing.-Richtung $\parallel$ Hauptschnitt	c_t Schwing.-Richtung $\perp$ Hauptschnitt	c_l cm/sec	c_t Schwing.-Richtung $\parallel$ Hauptschnitt	c_t Schwing.-Richtung $\perp$ Hauptschnitt
0°	276300	237400	237400	244200	146700	146700
15°	317500	203900	241700	257300	142900	151100
30°	371400	179500	251000	286900	137900	163100
45°	416700	184400	263900	320000	138000	178400
60°	449900	207100	276100	348800	141400	192300
75°	469500	228500	284900	367900	145200	201700
90°	476200	237400	288000	375100	146700	206000

Berechnet man nach der bekannten Debyeschen Formel[2])

$$\Theta = \frac{h}{k}\,c\,\sqrt[3]{\frac{3\,N}{4\,\pi\,V}}$$

für jede Wellenart die charakteristische Temperatur als Funktion der Richtung im Raum und bildet mit diesen Werten eine das Raumintegral über die Debyesche Funktion näherungsweise ersetzende Summe, so ergeben sich die berechneten Atomwärmen erheblich zu niedrig, also sind die Θ zu hoch. Dies rührt vermutlich daher, daß bei Herleitung obiger Formel, die auf der Abzählung sämtlicher möglicher Schwingungen im Grammatom beruht, auf die Dispersion der kürzesten elastischen Schwingungen keine Rücksicht genommen ist.

b) Thermische Ausdehnung.

In welchem Verhältnis Θ zu verkleinern ist, läßt sich mangels genauer Messungen von C_p in tiefer Temperatur empirisch noch nicht sicher ermitteln. Der aus theoretischen Überlegungen gewonnene Faktor $2/\pi$ scheint sich für Zn und Cd zu bewähren.

Die Unterschiede der thermischen Ausdehnung $\parallel$ und $\perp$ zur hexagonalen Achse sind bei Zn und Cd außerordentlich groß, sowohl die absolute Größe des Ausdehnungskoeffizienten α, wie auch seine Veränderlichkeit mit der Temperatur betreffend.

---

[1]) Nach Richards; Adams, Williamson u. Johnston.

[2]) Vgl. z. B. M. Born, Atomtheorie des festen Zustandes. 2. Aufl. Leipzig, B. G. Teubner, 1923, *S. 646 f.*

Digitized by Google

Temp.	Zink		Kadmium	
	$10^6 \cdot \alpha_{\parallel}$	$10^6 \cdot \alpha_{\perp}$	$10^6 \cdot \alpha_{\parallel}$	$10^6 \cdot \alpha_{\perp}$
+ 60°	64	14,1	52,5	21,8
— 160°	64	5,1	59	12,2

Die für reguläre Metalle gültige Proportionalität zwischen linearem Ausdehnungskoeffizient und spez. Wärme besteht also für hexagonale Metalle nicht mehr. Bildet man jedoch den Volumenausdehnungskoeffizienten $\alpha_{\parallel} + 2\,\alpha_{\perp}$, so erhält man für Zn und Cd Temperaturfunktionen, die mit denen der Atomwärmen C_p gut zusammenfallen, soweit ein Vergleich bisher möglich ist.

c) Elektrisches Leitvermögen.

Der spez. Widerstand σ ist $\perp$ zur hexagonalen Achse kleiner als $\parallel$ zur Achse. Mit sinkender Temperatur fällt $\sigma_{\perp}$ zunächst stärker ab als $\sigma_{\parallel}$, so daß $\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$ noch ansteigt (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3.

Spez. Widerstände in $10^6\ \Omega$ cm.

Temp.	Zink			Kadmium		
	$\sigma_{\parallel}$	$\sigma_{\perp}$	$\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$	$\sigma_{\parallel}$	$\sigma_{\perp}$	$\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$
373,2	8,30	7,67	1,083	11,07	9,34	1,185
273,2	5,84	5,41	1,080	7,79	6,55	1,188
84	1,40	1,19	1,172	2,08	1,70	1,223
20	$0{,}053_9$	$0{,}045_6$	1,182	0,167	0,119	1,40

Bei weiterer Temperaturerniedrigung jedoch scheint $\sigma_{\perp}$ langsamer zu sinken als $\sigma_{\parallel}$, so daß das Verhältnis $\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$ einen Umkehrpunkt besitzen würde, der beim Zn zwischen 84° und 20° abs. und beim Cd bei einer etwas tieferen Temperatur anzunehmen ist. Der spez. Widerstand reinen, aber polykristallinen Zinks liegt nach Messungen von Holborn bei höherer Temperatur zwischen $\sigma_{\parallel}$ und $\sigma_{\perp}$, beim H_2-Siedepunkt jedoch noch oberhalb $\sigma_{\parallel}$.

d) Erholungserscheinungen nach bleibender Deformation.

Einkristallstäbchen aus Zn und Cd, deren Achse nahe parallel zur hexagonalen Achse orientiert ist, haben eine außerordentlich niedrige Elastizitätsgrenze für Drillungen. Unterhalb derselben gilt praktisch das Hookesche Gesetz. Überschreitet man die Elastizitätsgrenze um ein geringes, so verändert man dadurch die elastischen Eigenschaften des Kristalls, indem der Torsionsmodul abnimmt und das Hookesche Gesetz weniger gut erfüllt ist. Nach mehreren Stunden Ruhe hat der Kristall wieder die früheren Eigenschaften erlangt, was so zu deuten sein dürfte, daß das durch die bleibende Deformation ein wenig aus seiner Gleichgewichtslage geworfene Kristallgitter sich in einer neuen, der vorigen benachbarten Lage wieder aufbaut.

Ein Teil der Ergebnisse wurde auf dem Bonner Physikertag vorgetragen (Anhang 1, Nr. 16).

37. Temperaturkoeffizient des Elastizitätsmoduls von Metallkrystallen zwischen + 20° und — 190°[1]).

Im Anschluß an die Untersuchung der elastischen Eigenschaften wurde auch der Temperaturkoeffizient des Elastizitätsmoduls an Einkristallstäben von Zn, Cd, Al, Wo zwischen Zimmertemperatur und der der flüssigen Luft bestimmt, indem die Veränderung der Tonhöhe eines Transversaltones durch die Abkühlung mit Hilfe des Normaltonsenders gemessen wurde. Die prozentuale Zunahme des Elastizitätsmoduls bei Abkühlung um 100° ergab sich für Zn zu 4—6 % (je nach Lage der hexagonalen Achse zur Stabachse), für Cd zu 7,5—8 %, für Al zu 5,6 %, für Wo zu 0,5 %. Die Werte für die letzten beiden (regulären) Metalle wurden an zwei von der Osramgesellschaft zur Verfügung gestellten Stäben gemessen, die Lage der kristallographischen Achsen in ihnen war nicht bekannt. Die für Zn, Cd, Al gefundenen Temperaturkoeffizienten sind um ein Mehrfaches kleiner als die für polykristallines Material bekannten Zahlen. Bei Wo ist der Unterschied geringer. Dieser Befund ist von gewisser Bedeutung für die Theorie der spezifischen Wärme, da er die Möglichkeit erklärt, den Verlauf der spezifischen Wärme einer Reihe von Metallen durch eine Debyefunktion mit konstantem Θ darzustellen.

Die Bestimmung des Temperaturkoeffizienten des Torsionsmoduls soll in Angriff genommen werden.

[1]) Goens.


Digitized by Google

Unterabteilung IIb.

38. Übersicht über die Prüfungsarbeiten.

Die Zahl der Prüfungen hat sich gegen das Vorjahr (geklammerte Zahlen) teils gehoben, teils gesenkt. Im ganzen stand mehr Zeit für wissenschaftliche Arbeiten zur Verfügung.

A. Laboratorium für Grundeinheiten [1]).

13 (3) Proben Leitungsmaterial (1 Aluminium, 3 Eisen, 9 Kupfer).
13 (3) „ Widerstandsmaterial.
43 (58) Einzelwiderstände.
14 (8) Widerstandssätze, einschl. Verzweigungswiderstände (428 Abteilungen).
7 (2) Verschiedenes (1 Spannungsteiler für Wechselstrom, 1 Schleifdraht, 5 Wechselstromwiderstände (32 Abteilungen).
0 (1) Clarkelemente,
90 (23) Internationale Westonelemente.
76 (122) Westonelemente mit bei 4° gesättigter Lösung.

Von den geprüften Einzelwiderständen waren 31 in Drahtform, 12 in Blechform. Von den Prüfungen waren 12 für Ungarn, 1 für Polen, 7 für Schweden, 6 für die Schweiz, 1 für Spanien und 3 für Japan bestimmt.

Die Abweichnungen von dem Sollwert lagen bei den internationalen Westonelementen bei 35 Elementen unterhalb $+1\cdot10^{-4}$ V, bei 51 Elementen zwischen $+1$ und $2\cdot10^{-4}$ V. Ein Element besaß eine veränderliche EMK und 3 waren fehlerhaft.

Die Prüfung der Westonelemente mit bei 4° gesättigter Lösung ergab:

bei 6 Stück . . . . 1,0188 Volt
„ 43 „ . . . . 1,0187 „
„ 12 „ . . . . 1,0186 „
14 „ hatten eine EMK . . . . 1,0186 „
1 „ war fehlerhaft.

Für die Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

4 Widerstandsapparate (40 Abteilungen)
8 Lampenwiderstände,
1 Vorschaltwiderstand,
8 Normalelemente,
2 Proben destilliertes Wasser.

Ferner wurden 3 Widerstände für eine kalorimetrische Meßeinrichtung abgeglichen.

B. Laboratorium für Wechselstromnormalien [2]) und Hochfrequenz [3]).

18 (17) Induktivitäten,
0 (2) Induktivitätsvariatoren,
40 (7) Kapazitäten,
12 (17) Kapazitätssätze [165 (255) Abteilungen],
15 (28) Kapazitätsvariatoren,
176 (246) Verlustwinkel fester Kondensatoren,
1 (8) Verlustwinkel von Kapazitätsvariatoren.
0 (1) Temperaturkoeffizient von Glimmerkondensatoren,
4 (6) Wellenmesser,
0 (2) Dielektrizitätskonstante fester Isolatoren,
5 (2) Verlustwinkel fester Isolatoren.
1 (0) Kapazitätsmeßbrücken,
2 (0) Fernhörer.

---

[1]) v. Steinwehr, A. Schulze.
[2]) Giebe, Zickner.
[3]) Giebe, Alberti.


Digitized by Google

Für Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

8 (3) Kapazitäten,
3 (0) Kapazitätssätze [56 (0) Abteilungen],
1 (2) Kapazitätsvariatoren,
56 (5) Verlustwinkel von Kondensatoren,
0 (1) Wellenmesser.

C. Gleichstromlaboratorium[1]).

28 (34) Apparate zur Messung der Spannung und Stromstärke,
14 (45) „ „ „ „ Leistung,
7 (36) „ „ „ „ Arbeit (Elektrizitätszähler),
13 (18) Vor- und Nebenwiderstände,
0 (2) Widerstände von Leitungen,
16 (68) Primärelemente,
18 (21) Systemprüfungen von Gleich- und Wechselstromzählern,
5 (9) Vorprüfungen von Zählersystemen.

Für die einzelnen Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

45 (49) Normalwiderstände, Strom-, Spannungs-, Leistungsmesser und Zähler.

D. Wechselstromlaboratorium[2]).

I. Meßapparate.

9 (22) Spannungs- und Stromzeiger,
4 (1) Leistungszeiger,
91 (104) Elektrizitätszähler,
145 (236) Strom- und Spannungswandler,
1 (0) Phasenmesser,

II. Wechselstromgrößen.

10 (0) Winkelfehler von Widerständen,
0 (9) Selbstinduktionsspulen.

III. Isolations- und Installationsmaterial[3]).

60 (42) Feste Isoliermaterialien,
3 (3) Isolierlacke,
3 (41) Isolatoren,
0 (1) Isolierrohre,
10 (15) Öle,
17 (23) Kabel- und Drahtleitungen,
17 (19) Schalter und Steckvorrichtungen, Abzweigklemmen,
3 (0) Gummi-Handschuhe.

IV. Technische Apparate.

1 (6) Heizapparate[3]),
1 (1) Gleichrichter[3]),
16 (5) Klingeltransformatoren und Relais[3]),
3 (1) Fernhörer[3]),
3 (0) Prüfeinrichtungen für Meßwandler,
3 (3) Verschiedenes.

---

[1]) Schmidt, Scheld.

[2]) Schering, Reichardt, Behnken, Engelhardt, Burmester.

[3]) Es ist die Zahl der untersuchten Sorten bzw. Konstruktionen, nicht der Einzelstücke angegeben.

Digitized by Google

V. Systemprüfung.

1 (2) Prüfung von Stromwandlersystemen,
5 (0) „ „ Spannungswandlersystemen,
3 (44) Hochspannungszähler-Aggregate wurden im Betriebe an Ort und Stelle geprüft.
Der starke Rückgang der auswärtigen Prüfungen entstand durch die Abtrennung des industriereichen Teiles von Oberschlesien und besonders durch die Besetzung des Ruhrrevieres.

E. Maschinenlaboratorium[1]).

31 (18) Generatoren und Motoren,
0 (4) Anlasser,
2 (2) Apparate,
1 (2) Abnahme von Maschinen,
1 (0) Gutachten.

F. Magnetisches Laboratorium[2]).

27 (54) Proben Flußeisen, Gußeisen, Magnetstahl,
66 (111) Proben Dynamoblech,
1 (2) Magnetisierungsapparate nach Koepsel-Kath,
1 (0) Wismutspirale.

Von den Dynamoblechen wurden 34 wattmetrisch, 32 statisch untersucht; für 4 Proben wurde der Sättigungswert bestimmt; die Zahl der beschleunigten Prüfungen betrug 8.

39. Referat für das elektrische Prüfwesen[3]).
a) Zulassung von Zählern.

Es wurden zur Beglaubigung zugelassen

Gleichstromzähler: 1 neues System, 1 Abänderung bzw. Zusatz.

Zähler für ein- oder mehrphasigen Wechselstrom: 5 neue Systeme, 9 Abänderungen bzw. Zusätze.

Spannungswandler: 5 neue Systeme.

Eine Ablehnung der Zulassung erfolgte in 2 Fällen.

Eine Übersicht der zugelassenen neuen Systeme, Abänderungen und Zusätze ist in nachstehender Zusammenstellung der im Berichtsjahr erlassenen amtlichen Bekanntmachungen enthalten.

Nr. 159. System [4], Formen *NE* 1 und *NE* 2, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom, hergestellt von den Bergmann-Elektrizitäts-Werken A.-G. in Berlin.

Nr. 160. System [10], Form *L*, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom, hergestellt von den Isaria-Zählerwerken A.-G. in München.

Nr. 161. I. System [109], Form *EM* 4, Induktionszähler für Drehstrom mit Nulleiter.

II. Zusatz zu den Systemen [98], und [109], Zähler mit Doppelzählwerk mit eingebauter Umschaltuhr, Formen *EMD* und *EMD* 4, und ohne eingebaute Umschaltuhr, Formen *EMR* und *EM* 4 *R*, sämtlich hergestellt von der H. Aron Elektrizitätszählerfabrik G. m. b. H. in Charlottenburg.

Nr. 162. System [110], Form *D*, Induktionszähler für mehrphasigen Wechselstrom, hergestellt von der Dr. Paul Meyer A.-G. in Berlin.

Nr. 163. Bestimmungen über die Beglaubigung von Blindverbrauchszählern.

Nr. 164. Zusatz zu System [102], abgeänderte Form *WHP* Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom, hergestellt von der Firma Hermann Pipersberg jr. in Lüttringhausen im Rheinland.

Nr. 165. System [111], Form *W*, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom, hergestellt von der Globus Zählerfabrik G.m.b.H. in Berlin.

---

[1]) V. Vieweg, R. Vieweg, Schröter. [2]) Gumlich, Steinhaus.
[3]) Schmidt.



Nr. 166. I. Zweiter Zusatz zu System 100, Formen *D* 7 und *ZD* 7. Induktionszähler für mehrphasigen Wechselstrom.

II. Zweiter Zusatz zu System 101, Formen *D* 8 und *ZD* 8, Induktionszähler für Drehstrom mit und ohne Nulleiter.

III. Dritter Zusatz zu System 100, Formen *D* 7 *BV* und *ZD* 7 *BV*, Induktionszähler für Drehstrom ohne Nulleiter zur Messung des Blindverbrauchs.

IV. Dritter Zusatz zu System 10, Formen *D* 8 *BV* und *ZD* 8 *BV*, Induktionszähler für Drehstrom mit Nulleiter zur Messung des Blindverbrauchs, sämtlich hergestellt von den Siemens-Schuckert-Werken in Nürnberg.

Nr. 167. I. System 9, Spannungswandler für einphasigen Wechselstrom, Form *TE* 21.

II. System 10, Spannungswandler für einphasigen Wechselstrom, Form *TE* 22, beide hergestellt von der H. Aron Elektrizitätszählerfabrik G. m. b. H. in Charlottenburg.

Nr. 168. Dritter Zusatz zu System 9, Form *W* 5, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom, hergestellt von den Siemens-Schuckert-Werken in Nürnberg.

Nr. 169. System 12, Form *E* 1, Elektrolytzähler für Gleichstrom, hergestellt von den Siemens Schuckert-Werken in Nürnberg.

Nr. 170. System 11, Form *W* 3, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom, hergestellt von der Deutschen Zähler-Gesellschaft m. b. H. in Hamburg.

Nr. 171. Vierter Zusatz zu System 1[illegible], Elektrolytzähler für Gleichstrom, Formen *HN* 3 und *FN* 3, hergestellt von dem Glaswerk Schott u. Gen. in Jena.

Nr. 172. I. System 11, Spannungswandler für einphasigen Wechselstrom, Form Mtr. 166; Mtr. 167; Mtr. 222; Mtr. 222a.

II. System 12, Spannungswandler für einphasigen Wechselstrom, Form Mtr. 223; Mtr. 224; Mtr. 225, hergestellt von der Siemens & Halske A.-G. in Siemensstadt bei Berlin.

Nr. 173. System 13, Spannungswandler für einphasigen Wechselstrom, Form *TE* 23,,, hergestellt von der H. Aron Elektrizitätszählerfabrik G. m. b. H. in Charlottenburg.

b) Tätigkeit der Prüfämter.

Eine Übersicht über die Prüftätigkeit der einzelnen Ämter gibt die nachstehende Tabelle. Das Prüfamt 1 Ilmenau konnte Prüfungen im Berichtsjahr nur in geringem Umfange ausführen; seine Einrichtungen sind seit dem Frühjahr d. J. infolge einer beabsichtigten Neuorganisation abgebaut; ebenso war die Tätigkeit des Prüfamts 2 Hamburg längere Zeit behindert, da es in das Gebäude der Staatlichen Technischen Schulen umgezogen ist; es ist nunmehr diesen auch organisatorisch angegliedert. (Tabelle siehe nächste Seite.)

40. Widerstandsnormale[1]*).*

Die Prüfung der Manganinnormale und der Anschluß der Gebrauchsnormale an die Draht-Widerstandseinheit der Reichsanstalt sind im verflossenen Jahre wiederum mit dem gleichen befriedigenden Ergebnis wie in den vorhergehenden Jahren ausgeführt worden.

41. Ohmrohre[1]*).*

Die Untersuchungen an den Ohmrohren wurden fortgesetzt. Von den neuen 4 Ohmrohren wurden auf Grund der Kalibrierungen, der Längenmessungen und der Auswägungen ihres Quecksilberinhalts die geometrischen Werte der Widerstände ermittelt und zu den aus den elektrischen Vergleichungen sich ergebenden Werten — die im ganzen aus 7 Einzelfüllungen berechnet waren —

---

[1]) v. Steinwehr, A. Schulze.

Digitized by Google

Tabelle.

Meßgeräte	Prüfämter						
	Ilmenau	Hamburg	München	Nürnberg	Chemnitz	Frankf.a.M.	Bremen
1. Zähler,							
im ganzen eingereicht	9	554	18209	1359	10	7041	12108
Davon gehören einem zur Beglaubigung zugelassenen System an	1	116	[1])	1101	9	7028	11645
Bei der Einsendung hielten die Verkehrsfehlergrenzen nicht ein	5	316	5606	158	8	52	295
Von den in Zeile 1 aufgeführten Zählern wurden							
a) mit dem Beglaubigungsstempel versehen	1	86	—	965	3	6870	11246
b) mit dem Verkehrsstempel versehen	6	395	—	127	7	113	831
c) wegen Unzulässigkeit der Bauart zurückgewiesen	—	43	—	17	—	—	1
d) wegen Überschreitung der Verkehrsfehlergrenzen oder wegen sonstiger Mängel zurückgewiesen	2	—	—	60	—	52	—
e) nicht gestempelt, weil ohne Meßwandler oder bei nur wenigen Punkten geprüft	—	30	—	190	—	6	13
2. Tarifuhren, Zeitzähler und andere Tarifgeräte	—	6	6000	77	—	75	—
3. Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser und andere Meßgeräte	—	37	91	19	4	28	137
4. Elektrische Gebrauchsgegenstände	—	—	—	143	18	2	39
5. Isolations- und Installationsmaterial	—	—	234	—	3	—	108

in Beziehung gesetzt. Hierbei zeigte sich, daß die Ohmrohre in sich eine sehr gute Übereinstimmung aufwiesen.

Die alten Rohre XI, XIV und 114 wurden viermal gefüllt und ihre Widerstände nach der Differentialmethode (mit übergreifendem Nebenschluß) bestimmt. Auch diese Rohre blieben jedesmal längere Zeit gefüllt, so daß täglich Messungen an ihnen vorgenommen werden konnten. Eine Neubestimmung der geometrischen Dimensionen der alten Rohre, die bisher noch nicht wiederholt worden war, wird zurzeit ausgeführt und in kurzem beendet sein.

Für den Widerstand in den kugelförmigen Endgefäßen der Rohre wird Ausbreitung in die Unendlichkeit angenommen und der so berechnete Widerstand dem geometrisch ermittelten der Rohre hinzugefügt. Inwieweit diese Annahme zutrifft, ist bisher noch nicht untersucht worden. Die Londoner Konferenz im Jahre 1908 hatte für den Durchmesser der kugelförmigen Endgefäße 4 cm vorgeschrieben, während die alten Ohmrohre der Reichsanstalt Endgefäße von nur 2 cm Durchmesser besitzen. Bei Nichterfüllung der oben erwähnten Annahme könnte hieraus ein Unterschied zwischen den alten und den neuen Rohren resultieren, dessen Feststellung dringend erforderlich schien. Um für diese Messung einen möglichst kleinen Widerstand zu haben, wurden die Endgefäße durch ein weites, mit ganz kurzen kapillaren Enden versehenes Rohr verbunden, so daß die ganze Anordnung nur etwa 0,01 Ohm Widerstand besaß. Es ergab sich, daß ein meßbarer Unterschied zwischen der Ausbreitung in Endgefäßen von 2 cm und von 4 cm Durchmesser nicht vorhanden ist. (Vgl. auch Nr. 99.)

[1]) Die Angaben des Prüfamts München liegen nur unvollständig vor.


Digitized by Google

42. Das Verhalten der Kadmium-Amalgame[1].

Nachdem die Untersuchungen an den auf thermischem Wege, d. h. durch Zusammenschmelzen hergestellten Kadmium-Amalgamen abgeschlossen waren, wurden noch nachträglich Versuche mit elektrolytisch hergestellten Amalgamen angestellt, die zu denselben Ergebnissen führten und den direkten Beweis erbrachten, daß das Vorhandensein eines metastabilen Zustandes, wie ihn Herr Cohen annimmt, unmöglich ist. Überdies sind die Ergebnisse noch durch mikrophotographische Aufnahmen bestätigt worden. Durch diese Arbeit, die bereits veröffentlicht ist, ist zugleich eine Anzahl von Fragen, die die Herren Cohen und Moesveld in einer kürzlich erschienenen Notiz (*Zeitschr. f. phys. Chem.* **104.** *S. 403. 1923*) gestellt haben, beantwortet und die langjährige Streitfrage über die angebliche Unbrauchbarkeit des Westonschen Normalelements erledigt.

Tabelle 1 (zu *S. 90*).

Datum	B/C		C/5A		B/5A	
	Wert bei 18° C	Abweichung vom Mittel	Wert bei 18° C	Abweichung vom Mittel	Wert bei 18° C	Abweichung vom Mittel
1920						
27.—28. 2.	1 + 426·10⁻⁶	·10⁻⁶ +7	1 —	·10⁻⁶	1 —	·10⁻⁶
8.—16. 3.	426	+7	13506·10⁻⁶	—10	13085·10⁻⁶	—2
27. 3.—7. 4.	424	+5	505	—9	87	—4
11.—16. 6.	419	0	501	—5	88	—5
6.—12. 10.	417	—2	505	—9	94	—11
18.—22. 10.	416	—3	493	+3	83	0
29. 10.—1. 11.	417	—2	498	—2	86	—3
13. 11.	418	—1	496	0	84	—1
27. 11.	417	—2	495	+1	84	—1
11. 12.	417	—2	496	0	85	—2
1921						
4.—5. 1.	418	—1	496	0	84	—1
15. 1.	416	—3	497	—1	86	—3
1. 2.	417	—2	495	+1	84	—1
26. 2.	418	—1	507	—11	94	—11
12. 3.	418	—1	497	—1	85	—2
19. 3.	416	—3	492	+4	82	+1
5. 4.	417	—2	495	+1	84	—1
19. 4.	416	—3	495	+1	85	—2
4. 5.	418	—1	498	—2	86	—3
21. 5.	417	—2	490	+6	78	+5
15. 7.	421	+2	493	+3	78	+5
10. 8.	421	+2	491	+5	76	+7
19. 12.	414	—5	493	+3	85	—2
1922						
2. 5.	420	+1	499	—3	85	—2
26. 8.	420	+1	486	+10	72	+11
19. 9.	420	+1	474	+22	59	+24
1923						
11. 5.	422	+3	497	—1	81	+2
5.—6. 10.	424	+5	491	+5	73	+10
18.—22. 12.	419	0	494	+2	81	+2
1924						
19. 1.	426	+7	506	—10	85	—2
Mittel	419		496		83	
1913/1914	418		465		53	

[1]) A. Schulze.

Digitized by Google

43. Konstanz der Selbstinduktionsnormale [1]. Nachdem die Neubestimmungen der absoluten elektrischen Widerstandseinheit im National Physical Laboratory und in der Reichsanstalt gezeigt haben, daß sich die absolute Widerstandseinheit heute mit etwa der gleichen Genauigkeit reproduzieren läßt, wie die internationale Hg-Einheit, ist die Frage aufgeworfen, ob es nicht zweckmäßiger sei, die umständliche und zeitraubende, gesetzlich vorgeschriebene Wiederholung des Anschlusses der Drahtwiderstandsnormale an die Hg-Einheit durch eine bequemere Absolutmessung der Drahtwiderstände zu ersetzen. Die bei der absoluten Ohmbestimmung benutzten Selbstinduktionsspulen (Ohmspulen) repräsentieren die absolute elektrische Widerstandseinheit. Es ist daher von Bedeutung, zu wissen, bis zu welchem Grade die Selbstinduktion der Ohmspulen als zeitlich unveränderlich anzusehen ist. Aus diesem Grunde wurde seit dem Jahre 1920 (vgl. Bericht für 1920, *diese Zeitschr.* ***41.*** *S. 136. 1921*) eine Anzahl von Messungen an den drei vorhandenen Spulen ($A \approx 0{,}01$ H, $B \approx 0{,}05$ H, $C \approx 0{,}05$ H) ausgeführt. Die Mehrzahl der Messungen war relativ und hatte die Kontrolle der Verhältnisse B/C und C/A zum Zweck; aber auch absolute elektrische Messungen sind ausgeführt, infolge der zeitweise eingetretenen Überlastung des Laboratoriums mit Prüfungsarbeiten leider nicht mit der erwünschten Regelmäßigkeit, doch gibt das vorliegende Versuchsmaterial (s. Tabelle 1 bis 3) schon einigen Aufschluß über die Konstanz der Ohmspulen. Tab. 1 (S. 89) enthält die Resultate der Relativmessungen. B/C und C/A sind gemessen, B/A ist aus jenen beiden Verhältnissen berechnet. Am Fuß der Tabelle sind die Mittel aller Messungen und ferner zum Vergleich die in der Ohmarbeit veröffentlichten Werte von 1913/14 angegeben. Es zeigt sich, daß B/C, also das Verhältnis der beiden nahe gleichen Spulen, in der Zeit von 1913—1924 sehr gut konstant geblieben ist. Die Abweichungen vom Mittel betragen meist nur wenige Milliontel. Etwas ungünstiger verhält sich C/A; hier erreichen die Abweichungen vom Mittel einige Male $\pm 1 \cdot 10^{-5}$, in einem Ausnahmefall sogar $-2{,}2 \cdot 10^{-5}$. Es ist jedoch zu bemerken, daß die Messung von C/A etwas ungenauer ist als die von B/C, erstens wegen der fünfmal kleineren Selbstinduktion von A, und zweitens, weil in die Messung von C/A das Verhältnis zweier verschieden großer Widerstände (100 Ohm und 250 Ohm) eingeht, die jährlich nur einmal an die Hauptdrahtnormale von 1 Ohm angeschlossen werden. Ähnlich wie C/A verhält sich B/A; die Mittelwerte beider Verhältnisse für die Jahre 1920—1924 sind um $3 \cdot 10^{-5}$ kleiner als die Werte von 1913/14. Daß eine der beiden

Tabelle 2.

Datum	$C_I : A$	$C_{II} : C_I$	$C_{III} : C_I$
1913	$1{,}01173_6$	$1{,}00008_8$	$1{,}00005_0$
1920	$1{,}01169_7$	$1{,}00009_5$	$1{,}00005_1$

Tabelle 3.

Datum	A		B		C	
	int. H bei 18° C	Abweichung vom Mittel	int. H bei 18° C	Abweichung vom Mittel	int. H bei 18° C	Abweichung vom Mittel
	$0{,}01 \times$	$\cdot 10^{-6}$	$0{,}05 \times$	$\cdot 10^{-6}$	$0{,}05 \times$	$\cdot 10^{-6}$
1920 12.—18. Okt.	$1{,}01331_2$	$+3$	$(1 + 5_0 \cdot 10^{-6})$	-7	$(1 - 36_7 \cdot 10^{-6})$	-3
1922 7.—20. Sept.	$1{,}01328_9$	-20	$(1 + 5_2 \cdot 10^{-6})$	-5	$(1 - 36_2 \cdot 10^{-6})$	$+2$
1923 17. Mai	$1{,}01331_1$	$+2$	$(1 + 5_6 \cdot 10^{-6})$	-1	$(1 - 36_6 \cdot 10^{-6})$	-2
1923 10.—11. Okt.	$1{,}01330_8$	-1	$(1 + 6_1 \cdot 10^{-6})$	$+4$	$(1 - 36_3 \cdot 10^{-6})$	$+1$
1924 15.—17. Jan.	$1{,}01332_4$	$+15$	$(1 + 6_4 \cdot 10^{-6})$	$+7$	$(1 - 36_2 \cdot 10^{-6})$	$+2$
Mittel	$1{,}01330_9$		$(1 + 5_7 \cdot 10^{-6})$		$(1 - 36_4 \cdot 10^{-6})$	
1913—1914	$1{,}01330_6$		$(1 + 8_0 \cdot 10^{-6})$		$(1 - 33_8 \cdot 10^{-6})$	

[1] Giebe, Zickner.

Digitized by Google

Spulen A und C sich relativ zur anderen seit 1914 geändert hat, wurde übrigens auch durch Vergleichung der drei Unterabteilungen von C, nämlich C_I, C_{II}, C_{III}, von je etwa 0,01 H, mit A bestätigt. Die Resultate (Mittelwerte aus zwei Messungen) dieser im Mai 1920 ausgeführten Messungen enthält Tabelle 2, zusammengestellt mit den Werten von 1914. Seit 1914 sind C_{II}/C_I und C_{III}/C_I nahezu konstant geblieben, während C_I/A um $4 \cdot 10^{-5}$ kleiner geworden ist.

Die bei den verschiedensten Zimmertemperaturen ausgeführten Messungen von C/A deuteten an, daß der Einfluß der Temperatur auf die Selbstinduktion der beiden Spulen nicht genau der gleiche ist. Eine daraufhin durchgeführte besondere Bestimmung des Temperaturkoeffizienten des Verhältnisses C/A zwischen 12,7° und 22° ergab in der Tat für A den Temperaturkoeffizienten $\alpha = 2{,}4 \cdot 10^{-6}$, wenn für C, wie in der Ohmarbeit, $\alpha = 4{,}1 \cdot 10^{-6}$ gesetzt wird. Die in Tabelle 1 angegebenen Werte von C/A sind mit diesen Temperaturkoeffizienten auf 18° reduziert. Daß in der Ohmarbeit auch für A mit $\alpha = 4{,}1 \cdot 10^{-6}$ gerechnet ist, ist für die Resultate jener Arbeit belanglos, da früher stets sehr nahe bei 18° gemessen wurde.

Die Resultate der absoluten elektrischen Messungen enthält Tabelle 3. Die Vergleichung des Mittelwertes der fünf Messungen jeder Spule mit den Resultaten von 1913/14 zeigt, daß seit 1913 bis jetzt Spule A konstant geblieben ist, während die Selbstinduktionen der Spulen B und C, im Einklang mit den Relativmessungen, um 2 bis $3 \cdot 10^{-5}$ kleiner geworden sind; dabei ist vorausgesetzt, daß die den Messungen zugrunde liegende internationale Widerstandseinheit der Reichsanstalt von 1913 bis 1924 völlig konstant war.

Die Abweichungen der seit 1920 ausgeführten fünf Messungen für jede Spule von ihrem Mittelwert liegen, mit einer Ausnahme, innerhalb der Meßgenauigkeit von etwa ± 15 Millionteł; eine zeitliche Änderung der Spulen war also in den letzten drei Jahren nicht nachweisbar.

44. Wellenlänge elektrischer Schwingungen [1]

Bei der Festlegung der neuen Wellenlängenskala ergaben sich in manchen Fällen, besonders bei kürzeren Wellen, kleine, aber systematische Abweichungen zwischen den nach Thomsons Formel und den nach dem harmonischen Gesetz aus einer bekannten Grundfrequenz berechneten Frequenzen. Zeitliche Änderungen von Selbstinduktionen und Kapazitäten des Normalschwingungskreises konnten die Ursache dieser Abweichungen nicht sein, denn mehrfach wiederholte Nacheichungen von Kondensatoren und Spulen ergaben eine recht gute Konstanz. Eine Fehlerquelle wurde in schwacher magnetischer Kopplung des Detektorkreises mit dem Sender gefunden und durch folgende Anordnung beseitigt: die Achsen der beiden mit dem Normalschwingungskreis gekoppelten Spulen, der Detektorspule einerseits und der im Anodenkreis des Röhrensenders liegenden Erregerspule anderseits, stehen senkrecht aufeinander und unter 45° gegen die Achse der Selbstinduktionsspule des Normalkreises. Die Mittelpunkte der genannten drei Spulen liegen auf einer Geraden, ihre Achsen stehen senkrecht auf dieser Geraden, in welche außerdem die gemeinsame Achse der im Schwingungs- und im Gitterkreis des Senders liegenden Spulen fällt. Durch sorgfältige Justierung aller Spulen in den angegebenen Lagen konnte magnetische Kopplung des Detektorkreises mit dem Sender völlig ausgeschlossen werden; zur Vermeidung elektrischer Kopplung wurden symmetrische Detektorspulen der früher beschriebenen Art, bei kurzen Wellen außerdem leitende Hüllen zur Abschützung des Detektorkreises einschließlich Galvanometers benutzt.

Bei Messung von Oberschwingungen höherer Ordnung traten ferner Fehler auf, wenn die Eigenschwingung der Erregerspule in der Nähe derjenigen Oberschwingung des Senders lag, auf welche der Normalkreis abgestimmt wurde. Die Selbstinduktion der Erregerspule und die Kapazität der Zuleitungen zu derselben mußte daher so bemessen werden, daß die Eigenfrequenz der Spule hinreichend hoch lag.

Die neue Wellenlängenskala ist jetzt im Bereich von etwa 1000 bis 190000 m ($n = 300000$ bis 1593) mit einer Genauigkeit der Absolutwerte von 0,01 bis 0,02% festgelegt und kann nach den sich jetzt über zwei Jahre erstreckenden Kontrollmessungen etwa bis zu dieser Genauigkeitsgrenze auch als zeitlich unveränderlich angesehen werden. Jede Wellenlänge kann mit mehreren Spulen verschiedener Selbstinduktion und entsprechend gewählten Kapazitäten gemessen werden. Alle Spulen, mit Ausnahme einer einzigen von 0,05 H, liefern innerhalb der angegebenen Ge-

[1] Giebe, Alberti.


Digitized by Google

nauigkeit das gleiche Resultat. Die Ursache der bis über 1‰ betragenden Abweichungen bei der Spule von 0,05 H konnte durch die bisher hierzu unternommenen Untersuchungen noch nicht aufgeklärt werden.

Eine Veröffentlichung über die Wellenlängenmessungen in dem Bereich von $\lambda = 1000$ bis 190000 m steht bevor.

Es sind Versuche vorbereitet, um die neue Wellenlängenskala der Reichsanstalt mit der Skala anderer Staatsinstitute durch gleichzeitige Fernmessung der Wellenlängen transatlantischer Stationen nach der unter (Nr. 44) angegebenen Methode zu vergleichen.

Die Wellenlängenmessungen sind jetzt auch auf Wellen unter 1000 m ausgedehnt. Die Erreichung einer gleich hohen Meßgenauigkeit wie bei den längeren Wellen erscheint einstweilen fraglich. Neben anderen Fehlerquellen macht hier die Selbstinduktion der Kondensatoren Schwierigkeiten.

45. Fernmessung von Wellenlängen[1]). Es wurde eine neue Methode ausgearbeitet, am Empfänger die Frequenz der von außen aufgenommenen elektrischen Schwingungen zu messen. Nach dem Prinzip dieser Methode wird an einer sehr empfindlichen Röhrenempfangsschaltung die bei Abstimmung eines lose gekoppelten Wellenmessers auftretende Energieentziehung am Anodenstrom beobachtet. Die von der Antenne aufgenommene Energie wird einem Sekundärkreise zugeführt, der gleichzeitig Schwingungskreis einer Senderschaltung ist. Diese Senderschaltung hat eine sehr fein einstellbare kapazitive Rückkoppelung, die im allgemeinen so eingestellt wird, daß die Anordnung von selbst nicht schwingt, daß aber die geringste von außen einfallende Energie gleicher Frequenz genügt, Schwingungen aufrechtzuerhalten. Die Schwingungen setzen jedoch sofort wieder aus, sobald die Energiezufuhr aus der Antenne aufhört. Wird nun mit dem Schwingungskreis ein Wellenmesser gekoppelt, und dieser ebenfalls auf die Frequenz der von außen einfallenden Schwingungen abgestimmt, so sinkt der Strom im Schwingungskreis und ebenso der Anodenwechselstrom der Elektronenröhre. Das Absinken des Stromes beobachtet man am zweckmäßigsten mit einem Einfadenelektrometer.

Nach dieser Methode wurden die Betriebswellenlängen einer Anzahl europäischer und amerikanischer Sendestationen bestimmt. Die Methode und die Ergebnisse der Messung sind veröffentlicht (Anhang 1, Nr. 9).

46. Untersuchung von Röhrensendern mit der Braunschen Röhre[2]). Die im vorjährigen Tätigkeitsbericht (S. 81) erwähnten Untersuchungen über die Leistung und Wellenlänge des Röhrensenders mit innerer Rückkoppelung (Kühnsche Schaltung) wurden durch Variation des Gitterkreises erweitert und zum Abschluß gebracht. Es ergab sich dabei, daß bei sinkendem Verhältnis $\frac{L}{C}$ im Gitterkreise die Leistung ein immer schärfer ausgeprägtes Maximum aufweist, so daß die Kurven, welche den Zusammenhang zwischen der Leistung und der Eigenschwingung des Arbeitskreises veranschaulichen, immer spitzer werden. Die obere Grenze des Schwingungsbereiches sowie das Leistungsmaximum wandern gleichzeitig zu kleineren Eigenschwingungen des Arbeitskreises. Die beim Leistungsmaximum ausgesandte Wellenlänge nähert sich mehr und mehr der Eigenwellenlänge des Gitterkreises. Diese Erscheinung hat offenbar zu der irrtümlichen Vorstellung Anlaß gegeben, es handle sich um eine Resonanz zwischen Gitter- und Arbeitskreis.

Für den Bau von Sendern mit innerer Rückkoppelung ergeben sich folgende praktische Gesichtspunkte. Soll der Sender nur innerhalb eines verhältnismäßig engen Wellenbereiches schwingungsfähig sein, so daß also die ausgesandte Welle stets nahezu eine vorgeschriebene Länge besitzt, so ist für den Gitterkreis große Kapazität und kleine Selbstinduktion zu wählen. Soll dagegen der Sender einen größeren Wellenbereich bei möglichst gleichbleibender Leistung umfassen, so ist eine kleine Kapazität des Gitterkreises und eine dementsprechend größere Selbstinduktion erforderlich.

Die ausführliche Veröffentlichung erscheint im Archiv für Elektrotechnik (Anhang 1, Nr. 10).

47. Eichung von Dosismessern für Röntgenstrahlen[3]). Die Einrichtung zur Eichung von Dosismessern für Röntgenstrahlen mit Hilfe einer mit Druckluft zu füllenden Normalionisierungskammer wurde soweit fertiggestellt, daß die Reichsanstalt

[1]) Alberti, Leithäuser als Gast.
[2]) Alberti, Zickner. [3]) Behnken.

Digitized by Google

nunmehr in der Lage ist, auf Antrag Röntgenstrahlendosismesser in absoluten Einheiten zu eichen, und zwar zunächst innerhalb eines Härtebereiches bis zu 200 kV Scheitelspannung an der Röntgenröhre bei Filterung bis zu 1 mm Kupfer + 1 mm Aluminium. In Anlehnung an einen Vorschlag von W. Friedrich ist die Einheit der Dosis auf die Ionisierbarkeit der atmosphärischen Luft unter Normalbedingungen gegründet und folgendermaßen definiert worden:

„Die absolute Einheit der physikalischen Röntgenstrahlendosis ist diejenige Strahlenmenge, die bei der Bestrahlung von 1 ccm Luft von der Temperatur 18° C und dem Druck 760 mm Quecksilber bei voller Ausnützung der in der Luft ausgelösten Elektronen und bei Ausschaltung von Wandwirkungen eine so starke Ionisierung erzeugt, daß bei Sättigungsstrom eine Elektrizitätsmenge von einer elektrostatischen Einheit transportiert wird. Die Einheit der Dosis wird im Anschluß an W. Friedrich mit 1 „e" bezeichnet. Wird die Dosis 1 e in 1 Sekunde erreicht, so besitzt die Röntgenstrahlung die Einheit der Dosisleistung, für die die Bezeichnung 1 „b" gewählt wurde."

Für die Normalionisierungskammer wurde auf Grund eingehender Messungen eine Form gefunden, die die Ausmessung einer Röntgenstrahlung gemäß obiger Definition in praktisch einwandfreier Weise gewährleistet. Die Erweiterung auf noch härtere Strahlen ist in Vorbereitung. Genaue Einzelheiten über die Gestalt und die Dimensionen der Normalkammer sind in der *Zeitschr. f. techn. Physik* veröffentlicht (vgl. Anhang 1, Nr. 11).

48. Messungen an Röntgenstrahlen mit dem Geigerschen Spitzenzähler [1]).

Es wurde gezeigt, daß der Geigersche Spitzenzähler ein äußerst empfindliches und für Messungen geeignetes Reagens auf Röntgenstrahlen darstellt. Die Wirkungsweise der Zählkammern bei Röntgenbestrahlung wurde näher untersucht und festgestellt, daß sie vorwiegend durch in der Kammerwand ausgelöste Elektronen bedingt ist. Eine vorläufige Mitteilung darüber ist veröffentlicht (vgl. Anhang 1, Nr. 48). Die Versuche werden fortgesetzt.

Die Arbeiten des Röntgenlaboratoriums wurden wesentlich unterstützt durch Zuwendungen der Osram-Kommandit-Gesellschaft. Auch die Firma Siemens & Halske stellte in entgegenkommendster Weise experimentelle Hilfsmittel zur Verfügung.

49. Die Messung der Bremskräfte von Magneten [2]).

Permanente Bremsmagnete finden beim Bau elektrischer Apparate vielfach Anwendung; die Messung ihrer Bremskräfte ist besonders mit Rücksicht auf ihre Verwendung bei Elektrizitätszählern von Wichtigkeit. Die bisher dazu verwendeten Methoden befriedigen nicht; sie gestatten lediglich eine relative Vergleichung der Bremskräfte gleichartig dimensionierter Magnete und sind zudem mit erheblichen Fehlerquellen behaftet. Der in Fig. 1 skizzierte Apparat, der die auftretenden Bremskräfte absolut zu messen gestattet, hat bei Vorversuchen, die an einem zunächst behelfsmäßig zusammengesetzten Modell vorgenommen wurden, seine Brauchbarkeit erwiesen.

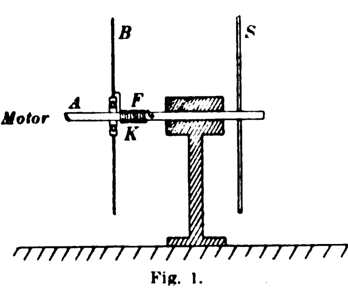


Fig. 1.

Die Achse A ist mit der Achse eines mit konstanter Tourenzahl laufenden Motors gekuppelt sie trägt die Bremsscheibe B, die mit Hilfe des Kugellagers K auf der Achse drehbar gelagert ist. Achse und Bremsscheibe sind mittels der Torsionsfeder F miteinander verbunden, so daß die Bremsscheibe von der Achse bei ihrer Rotation mitgenommen wird. Wirkt nun auf die Scheibe B die Bremskraft eines Magneten, so erfährt sie eine Verdrehung aus ihrer ursprünglichen Lage so lange, bis die Gegenkraft der Torsionsfeder der Bremskraft die Wage hält. Die Verdrehung wird mit Hilfe einer zweiten, mit der Achse starr verbundenen Scheibe S in bekannter Weise stroboskopisch gemessen; sie ist das Maß für die Bremskraft.

Mit Rücksicht auf die stroboskopische Ablesung ist es zweckmäßig, hohe Tourenzahlen zu verwenden, während bei der Verwendung der Magnete in Elektrizitätszählern nur geringe Umdrehungszahlen von der Größenordnung 50 pro Minute vorkommen; es ist daher zu bedenken, ob nicht durch die bei den hohen Tourenzahlen auftretende Rückwirkung des Feldes der Wirbelströme das Resultat gefälscht wird. Die Rechnung ergibt, daß bei Anwendung eines Materials von hohem

[1]) Behnken. [2]) Schmidt.


Digitized by Google

spezifischen Widerstande für die Bremsscheibe (Konstantan) die Rückwirkung bis zu einer Tourenzahl von 1500 Umdr./Min. verschwindend klein (unter 1 $^0/_{00}$) bleibt, so daß die Bremskräfte proportional der Tourenzahl sind. Aus der bei 1500 Umdrehungen gemessenen Bremskraft läßt sich daher ohne weiteres die Bremskraft für die bei Zählern üblichen Geschwindigkeiten berechnen; auch die Änderung der Bremskraft bei Verwendung eines anderen Materials als Bremsscheibe kann man bestimmen, wenn man nur das Verhältnis der spezifischen Widerstände kennt.

Ein Probeapparat wird in der Werkstatt der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt hergestellt.

50. Die Messung der Erwärmung von Spulen[1]). In den Prüfvorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker ist für stromdurchflossene Spulen die zulässige Erwärmung unter vorgeschriebenen Betriebsbedingungen festgesetzt. Die Temperaturgrenzen sind nach der Art der Isolation des Spulendrahtes abgestuft. Im allgemeinen soll die mittlere Übertemperatur der Wicklung aus der Messung des Widerstandes im kalten und warmen Zustande ermittelt werden. Diese Ermittelung wird bei elektrischen Kleinapparaten für Wechselstrom, z. B. Klingeltransformatoren, welche in größerer Anzahl der Reichsanstalt von der Prüfstelle des VDE zur Prüfung eingesandt werden, ganz unzuverlässig, weil in der kurzen Zeit des Umschaltens von dem Betriebswechselstrom auf den Gleichstrom der Brücke und der Messung die geringe Masse der Spule sich erheblich abkühlt. Um brauchbare Werte zu erhalten, muß man sehr schnell in bestimmten Zeitintervallen mehrere Widerstandsmessungen ausführen und durch Extrapolation den Widerstand im Augenblick des Abschaltens des Wechselstromes ermitteln. Bei laufenden Prüfungen ist dieses Verfahren zu kostspielig, es wurde daher mit einem zwischen die Spulen geschobenen Thermoelement die Übertemperatur gemessen.

Bei den Systemprüfungen versagten auffallend viel Transformatorenkonstruktionen. Da die Fabrikanten von elektrischen Kleinapparaten in der Regel nicht mit elektrischen Präzisionsmeßeinrichtungen ausgerüstet sind, wurde versucht, ein ganz einfaches Temperaturmeßverfahren auszubilden.

In einen zusammengefalteten Streifen Schreibmaschinendurchschlagpapier wurden einige Körnchen gewisser Chemikalien gelegt und zwischen die Wicklungen des Transformators geschoben. Beim Überschreiten einer bestimmten Temperatur schmolzen die Chemikalien und tränkten das Papier. Besonders eigneten sich folgende Substanzen:

Meta-Phenyldiamin (farblos)	105°	Pyrogallol (farblos)	133°
Schwefel, rhomb. (gelb)	112°	Dinitroanilin (gelb)	170°
Schellack (orange)	115°		

Die farblosen Stoffe, Phenyldiamin und Pyrogallol, färbten das Papier beim Durchtränken schwarz. Die anderen Stoffe sind an sich auffallend gefärbt, so daß an dem Papierstreifen sofort zu erkennen ist, ob die Substanz durch das Papier hindurchgeschlagen, die betreffende Temperatur also überschritten worden ist. Da das einfache Verfahren auch sonst für Temperaturmessungen an schlecht zugänglichen Stellen bei Maschinen anwendbar zu sein scheint, werden die Versuche fortgesetzt, um für weitere Temperaturstufen geeignete Stoffe zu finden.

Manche Chemikalien, z. B. Harze, welche beim Schmelzen erst zähflüssig werden, erwiesen sich als ungeeignet, da sie nicht durch das Papier hindurchschlugen.

51. Transportable künstliche Belastung für Meßwandlerzähler[1]). Bei der Prüfung von Hochspannungszählern am Betriebsorte konnten Zähler, welche stark verstellt waren — namentlich durch unsachverständige Eingriffe —, nicht an Ort und Stelle instandgesetzt werden, weil die Betriebslast sich im allgemeinen nicht willkürlich auf die zur Regelung notwendigen verschiedenen Stromstärken und Phasenverschiebungen bringen läßt; ein solcher Zähler mußte bisher ins Laboratorium zur Einregelung geschickt werden. Es wurde nun eine transportable Einrichtung geschaffen, um den Meßwandlerzähler allein künstlich zu belasten und einzuregeln. An die Sekundärklemmen der beiden Spannungswandler des Zähleraggregates werden drei aus kleinen Spannungswandlerkernen hergestellte Transformatoren im Dreieck angeschlossen; die Sekundärwicklungen der letzteren sind für 5 A bemessen und haben verschiedene Anzapfungen; ihnen wird der Strom für die Stromspulen des zu untersuchenden Zählers und des Prüfwattmeters über

[1]) Schering, Reichardt.


Digitized by Google

zwei feste Ballastwiderstände entnommen. Durch Zusammensetzen der Sekundärspannungen zweier Transformatoren und die Wahl der Anzapfungen kann man Stromstärke und Phasenverschiebung variieren. Die drei Transformatoren sind in einem Kasten mit Schaltplatte eingebaut, auf der durch Einschrauben weniger Stöpsel der Reihe nach die zum Einzelabgleichen der beiden Systeme des Zählers und zur Nachprüfung des Zählers in Drehstromschaltung an den maßgebenden Punkten notwendigen Schaltungen hergestellt werden, ohne daß Überlegungen über die Schaltungsart erforderlich sind. Diese künstliche Belastung ist relativ wenig schwankend, was die Einregelung des Zählers ungemein erleichtert.

52. Wassergekühlter Strommeßwiderstand für Wechselstrom [1]).

Die Strommeßwiderstände aus Manganinrohr nach Patersen und Ragner, welche für die Stromwandlerprüfung für die Stromstufen: 100—300—1000—3000 A bei einem Spannungsabfall von etwa 2 V in der Reichsanstalt ausgebildet wurden und in der Technik benutzt werden, zeigen bei anhaltendem Gebrauch ein allmähliches Anwachsen des Widerstandes, das auf einen mechanischen Angriff des Manganinrohres durch das hindurchströmende Wasser zurückzuführen ist, Lackieren und Platinieren des Rohres vermögen diesen Mißstand nicht nachhaltig zu unterdrücken. Um hiervon frei zu werden, wurde 1918 ein Widerstand von 0,02 Ohm für 100 A [2]) aus bifilar gefaltetem Manganinblech hergestellt, das von zwei wassergekühlten, gleichzeitig als Stromdurchführung dienenden Kupferschienen gekühlt wurde, und zwar durch eine lackierte Seidenzeugschicht hindurch, die der elektrischen Isolation diente, mit einem höchsten Wärmedurchgang von 1,2 Watt/qcm. Das Wasser kam so mit dem Manganin nicht in Berührung. Nach demselben Prinzip wurde ein Widerstand von 0,006 Ohm für 300 A (also 540 W) aus bifilarem Manganinblech von 3 mm Stärke, 90 mm Breite und etwa 2×280 mm Länge hergestellt. Die Kupferschienen waren 100 mm breit und 15 mm stark und wurden durch zickzackförmig angelegte Querdurchbohrungen mit Wasser gekühlt. Mit Zwischenlagen aus mit Isolierlack getränktem Papier von 0,05 mm ergab sich mit der Strombelastung die folgende Änderung des Widerstandswertes gegenüber dem bei geringer Stromstärke:

Strom in A	Änderung in $^0/_0$
100	$-0{,}00_4$
150	$-0{,}01_1$
200	$-0{,}02_4$
245	$-0{,}04_0$
280	$-0{,}05_7$
300	$-0{,}06_5$

Die Kupferbacken blieben dabei völlig kalt, der Widerstandswert stellte sich bis auf einige Hunderttausendstel innerhalb $^1/_4$ Minute nach dem Einschalten der Stromstärke ein. Die Widerstandsänderung ist etwas größer ausgefallen als nach den Ergebnissen an dem 0,02 Ohm Widerstand für 100 A mit Seidenzwischenlage erwartet wurde. Es wird versucht, die Kühlung durch andere Zwischenlagen zu verbessern. Bei Seide (0,05 mm) und Leinenbattist (0,10 mm), mit Schellack getränkt, betrug bei 300 A die Änderung $-0{,}05_0\,^0/_0$.

53. Vereinfachte Thomsonbrücke zur Nachprüfung von Strommeßwiderständen [1]).

Die in Nr. 52 erwähnte zeitliche Änderung der wassergekühlten Rohrwiderstände für Wechselstrom bedingte ihre häufigere Kontrolle. Um diese mit möglichst geringem Aufwand schnell durchführen zu können, wurde eine vereinfachte Doppelbrücke aus den festen und genau abgeglichenen Widerständen $\frac{50-100-200 \text{ Ohm}}{50-100-200 \text{ Ohm}}$ in ein Kästchen eingebaut, in dem noch zwei Widerstände von je 10000 Ohm untergebracht waren. Mit Hilfe dieser Brücke können die für die Stromwandlerprüfung bestimmten Strommeßwiderstände (X) 2—0,2—0,06—0,02—0,006—0,002—0,0005 Ohm mit den Gleichstromnormalbüchsen (N) 1—0,1—0,01—0,001 Ohm im Verhältnis 2 : 1 bzw. 6 : 1 oder 1 : 2 verglichen werden. Zur Feinabgleichung werden zwei korrespondierenden Zweigen (a) des Brückenkästchens je 10000 Ohm des Kästchens, den anderen beiden korrespondierenden Zweigen (b) je ein Kurbelwiderstand (R) mit mehreren Dekaden bis 9×10000 parallelgeschaltet und R reguliert, bis der Galvanometerausschlag Null wird. Zum Eliminieren des Einflusses der

[1]) Schering. [2]) *Diese Zeitschr.* **39.** *S. 141. 1919.*

7*

Digitized by Google

Thermokräfte kommutiert man den Strom, das Mittel der beiden Einschaltungen von R sei R_m, dann ist

$$X = N\frac{b}{a}\cdot\frac{1+a/10000}{1+b/R_m}.$$

Bezeichnen X_0 und N_0 die runden Werte, ΔX und ΔN die Abweichungen, so ist mit genügender Genauigkeit die gesuchte Größe

$$\Delta X = [a/10000 - b/R_m + \Delta N].$$

Die Brückenwiderstände sind so gewählt, daß ihnen gegenüber die Widerstände der kurzen 16-qmm-Zuleitungen und ihrer Kontaktstellen verschwinden; die Rohrwiderstände sind so anzuschließen, daß die aus einem dünnen Kupferblechrohr bestehende Spannungsleitung an den „inneren" Zweig der Doppelbrücke zu liegen kommt. An die Genauigkeit der Nebenschlußwiderstände R werden hohe Anforderungen nicht gestellt. Die Firma Hartmann & Braun hat die Fabrikation der Brücke übernommen.

54. Spannungswandlerprüfung[1]. Bei der in der Reichsanstalt ausgebildeten Methode zur Prüfung von Spannungswandlern[2]) wird für Spannungen von 50—80 kV ein Spannungsteiler aus Manganindraht von 2,5 Millionen Ohm benutzt. Da dieser große Apparat schwer transportabel ist, wurde die Reichsanstalt von den interessierten Kreisen der Industrie gebeten, zu versuchen, den Spannungsteiler durch einen „Normalspannungswandler" zu ersetzen. Die Reichsanstalt veranlaßte die Firma Siemens & Halske Wernerwerk, ihren Spannungswandler 50000/110 V mit einer weiteren Sekundärwicklung für 5 V zu versehen. Der Meßzweig der Prüfeinrichtung wurde statt an den Spannungsteiler an diese 5-V-Wicklung über einen Vorschaltwiderstand von 500,0 Ohm angeschlossen. Der Spannungsfehler und der Winkelfehler des zu prüfenden Wandlers konnten dann wieder unmittelbar ohne Rechnung an dem Schleifdraht des Meßzweiges und an dem Kurbelkondensator abgelesen werden. Die Fehler des „Normalwandlers" waren zwischen 15 und 50 kV bei 50 Per./s sehr gering, so daß ihretwegen Korrektionen anzubringen im allgemeinen sich erübrigt. Nach diesem günstigen Ausfall wurde auch ein Spannungswandler 15000/15 V als Ersatz des Spannungsteilers für das Bereich bis 3 kV herab von der Firma Siemens & Halske hergestellt, der ebenfalls recht befriedigte.

55. Empfindlichkeitsregler für Vibrationsgalvanometer[3]. Die Messung mit dem Vibrationsgalvanometer in komplizierten Brücken und Kompensationsschaltungen bedingt vielfach eine sehr starke Herabsetzung der Empfindlichkeit des Vibrationsgalvanometers zu Beginn der Messung, da die bei Gleichstrom angewandten Methoden wie kurzzeitiges Einschalten des Galvanometers und Beginnen mit schwachem Strome häufig nicht anwendbar sind. Es wurde ein Kurbelschalter mit 8 Kontakten und einer Unterbrechungsstelle hergestellt, welcher dem Galvanometer zunächst Widerstände vor-, des weiteren Widerstände parallel- und vorschaltet. Die Widerstände wurden so gewählt, daß für Galvanometer von kleinem und großem Widerstand und für verschwindend kleinen und sehr großen Widerstand der Brücken- oder Kompensationsanordnung die Empfindlichkeit beim Fortschreiten um einen Kontakt nicht mehr als um den Faktor 5 wächst (so daß das von dem vibrierenden Galvanometerspiegel entworfene Lichtband nicht zu schwach wird), andererseits aber so große Empfindlichkeitsherabsetzungen erzielt werden, wie sie allein durch Vorschaltwiderstände nur durch Beträge von vielen Millionen Ohm erzielt werden könnten. Die Widerstände des Empfindlichkeitsschalters sind von mäßigem Betrage und können aus Manganindraht auf kleinen Röllchen von 8 mm Durchmesser und 4 cm Länge aufgespult werden (Anhang 1, Nr. 36).

56. Meßkondensatoren für Hochspannung[4]. Nachdem bereits früher ein Zylinderkondensator von etwa 1100 $\mu\mu$F für 25 kV bei 12 Atm. Kohlensäure hergestellt war, wurde aus zwei konzentrischen Zylindern im Drucktopf ein Kondensator von 450 $\mu\mu$F für 70 kV bei 12 Atm. Kohlensäure gebaut, zu dem das Material in dankenswerter Weise von der Vereinigung der Kabelfabrikanten im Zentralverbande der Deutschen Elektrotechnischen Industrie zur Verfügung gestellt wurde. Ferner wurden Repilitdurchführungen von den Siemens-Schuckertwerken für 120 kV Überschlagsspannung als Meßkondensatoren zurechtgemacht, indem die äußere Drahtbandage, welche als Meßbelegung diente, von einer Schutzhülle aus Blech umgeben wurde. Als Zuführung zur Meßbelegung diente eine in einem biegsamen,

---

[1]) Schering, Engelhardt. [2]) *Diese Zeitschr.* **37.** *S. 98. 1917.*
[3]) Schering, Reichardt. [4]) Schering, Burmester.

Digitized by Google

geerdeten Metallschlauch isoliert geführte Leitung. Als isolierende Führung bewährten sich trockene, paraffinierte Holzklötzchen, Gummiaderisolierung brachte durch ihren starken dielektrischen Verlust unter Umständen Fehler in der Kapazitätsmessung mit der Brücke hervor.

Um bei sehr hohen Spannungen Messungen des dielektrischen Verlustes mit der Brücke vornehmen zu können, wurde als Vergleichskondensator ein 1"-Gasrohr parallel zur Hochspannungsleitung, welche zum Prüfling führt, aufgehängt und zwar an geerdeten Drähten unter Zwischenlage von lackiertem Papier als Isolation. Dieser Kondensator, bei dem das Rohr die mit der Brücke verbundene Meßbelegung bildete, war frei von Verlusten. Als das Rohr zuerst an trockenen Schnüren aufgehängt war, war der Kondensator nicht winkelfehlerfrei. Ebenso zeigte sich, daß aus Blechplatten zusammengesetzte Kondensatoren einen Verlustwinkel hatten, wenn ein Teil der zwischen den Rückseiten der Platten verlaufenden Kraftlinien durch die Wand gingen.

57. Die Kurvenform der Hochspannung[1].

Es wurde ein Verfahren ausgebildet, mit dem Siemens-Blondell-Oszillographen die Kurvenform einer hohen Wechselspannung gegen Erde ohne merkliche zusätzliche Belastung des Transformators aufzunehmen. In die Nähe der Hochspannungsleitung wurde eine Blechtafel von etwa 1 qm oder ein 1" Gasrohr von einigen Metern Länge schwach isoliert aufgehängt und über einen Glimmerkondensator C_2 von 0,5 μF mit Erde verbunden. (Fig. 2.) Blechtafel oder Gasrohr bilden mit der Hochspannungsleitung einen Hochspannungsluftkondensator von einigen $\mu\mu F$ Kapazität. An C_2 besteht dann eine kleine Wechselspannung, welche der Hochspannung in der Kurve völlig gleicht. An C_2 ist ein Spannungswandler von großem Übersetzungsverhältnis 25000/125 V mit den Oberspannungsklemmen gelegt, an dessen Unterspannungsklemmen die Schleife ($r = 4{,}5$ Ohm für max. 0,003 A) des Oszillographen in Reihe mit einem Widerstande ϱ angeschlossen ist. Durch eingehende Untersuchungen wurde gezeigt, daß die Wechselspannung an C_2 durch den Anschluß des Spannungswandlers mit Schleife nicht merklich verzerrt wird und daß die Kurve mit praktisch genügender Treue von dem Oszillographen wiedergegeben wird, wenn mit ϱ einige Ohm vor die Schleife vorgeschaltet werden.

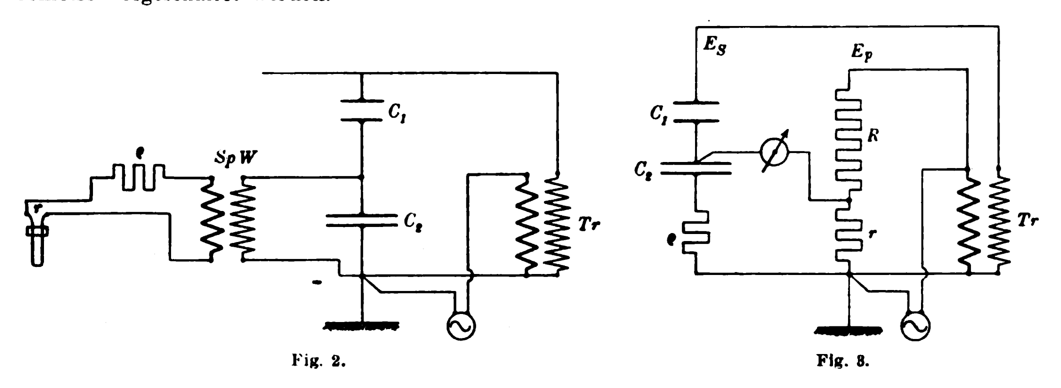


Fig. 2. Fig. 3.

Bei verschiedenen Transformatorschaltungen, Generatoren und Belastungen wurde eine Anzahl von Hochspannungskurven und gleichzeitig die zugehörigen Unterspannungskurven aufgenommen. Die Kurven auf der Unter- und Oberspannungsseite eines Transformators waren u. U. ganz verschieden, sodaß aus der Unterspannungskurve Schlüsse auf die Oberspannungskurve nicht gezogen werden können. Vielfach war bei kapazitiver Belastung die Oberspannungskurve besser sinusförmig als die Unterspannungskurve. Ein Vorschaltwiderstand auf der Primärseite verbesserte unter Umständen die Kurvenform erheblich.

58. Das Übersetzungsverhältnis von Hochspannungstransformatoren[1].

Prüftransformatoren für sehr hohe Spannungen werden vorwiegend durch die Kapazität der Prüfobjekte belastet. Diese bewirkt im Verein mit der großen Streuinduktivität des Transformators eine Spannungssteigerung auf der Sekundärseite, d. h. eine Erhöhung des Übersetzungsverhältnisses. Es wurde das folgende Verfahren zur Messung des Übersetzungsverhältnisses bei einseitiger Erdung ausgebildet.

Die hohe Sekundärspannung E_s wird durch die Kapazitäten C_1 und C_2 (Fig. 3), die Primär-

[1]) Schering, Burmester.

Digitized by Google

spannung E_p durch die Widerstände R und r unterteilt. Die kleinen Teilspannungen gegen Erde werden über ein Vibrationsgalvanometer gegeneinander geschaltet; dessen Ausschlag wird durch Regeln von R zu einem Minimum und durch einen geeigneten Widerstand ϱ vor C_2 zum Verschwinden gebracht. ϱ kompensiert die kleine Phasenverschiebung α zwischen Primär- und Sekundärspannung. Es ist dann

$$\ddot{U} = \frac{E_s}{E_p} = \frac{C_2}{C_1} \frac{r}{R + r} \cos \alpha; \quad \operatorname{tg} \alpha = \varrho \omega C_2.$$

Der Kondensator C_1 ist ein Hochspannungskondensator, der unter Nr. 56 erwähnten Arten. C_2 ein Glimmerkondensator von 1,0 μF. $r = 100$ Ohm, cos α weicht im allgemeinen um weniger als 0,1% von 1 ab.

Die relative Genauigkeit der Messung ist außerordentlich groß. Mit dieser Methode wurden zur Prüfung eingesandte Hochspannungselektrometer bis 180 kV bei Erdung der Transformatorenanlage auf einer Seite und in der Mitte geeicht, in letzterem Falle wurde das Übersetzungsverhältnis der beiden Hälften gemessen.

Die nach dem Dessauer Prinzip in Kaskade geschalteten, von Koch und Sterzel bezogenen Transformatoren des Laboratoriums von je 80 kV für jede Stufe wurden auf die Abhängigkeit des Übersetzungsverhältnisses von der eingeschalteten Kapazität in den verschiedenen Kombinationen untersucht und die Ergebnisse in Kurven dargestellt. Es zeigte sich, daß beim Zusammenschalten mehrerer Transformatoren zur Erzielung sehr hoher Spannungen bereits die Kapazität der Hochpannungsleitung und der Prüflinge das Übersetzungsverhältnis in nicht zu vernachlässigendem Betrage beeinflusst. Mit der Spannung von 20% der Nennspannung aufwärts änderte sich dann das Übersetzungsverhältnis um weniger als 0,5%. Da aus den Versuchen unter Nr. 57 bekannt ist, unter welchen Bedingungen die Kurvenform der Hochspannungsseite gut sinusförmig ist, kann für die laufenden Prüfungen die zu ermittelnde Hochspannung aus der Primärspannung, der mit der Telephonbrücke leicht zu ermittelnden Kapazität des Prüflings und der Kurve des Übersetzungsverhältnisses mit sehr viel größerer Zuverlässigkeit bestimmt werden als mit anderen Methoden, z. B. mit Kugelfunkenstrecken.

59. Dämpfung der Oszillographenschleife[1]. Nimmt man die Kurve einer verzerrten Wechselspannung von 50 Per./s gleichzeitig mit der Schleife für 0,003 A und mit der Schleife für 0,1 A des Siemens-Blondell-Oszillographen auf, so enthält die von ersterer Schleife aufgenommene Kurve die höheren Harmonischen weniger stark ausgeprägt, auch ist sie um 1,5 mm im ganzen gegen die zweite Kurve seitlich, d. h. in der Phase, verschoben. Es zeigte sich, daß das zum Dämpfen gelieferte Paraffinöl von der Zähigkeit $\eta = 1{,}35 \frac{g}{\text{cms}}$ bei 20° C die Schleife für 0,003 A viel zu stark dämpft. Bei 900 Per./s betrug die Empfindlichkeit weniger als 1/3 derjenigen bei 50 Per./s. Bei einem Öl von der Zähigkeit $\eta = 0{,}27$ bei 20° C änderte sich die Empfindlichkeit zwischen 50 und 900 Per./s nicht um mehr als ± 10% und die Verschiebung der Phase war zu einem geringen Betrag herabgedrückt. Die Ölwerke Stern-Sonneborn in Hamburg stellten freundlicherweise ein wasserhelles Öl dieser Zähigkeit zur Verfügung. Die Schleife 0.1 A ist durch das Paraffinöl $\eta = 1{,}35$ etwas zu wenig gedämpft, bei der hohen Eigenfrequenz der Schleife von etwa 10000 Per./s ist dieses jedoch für Frequenzen bis etwa 3000 Per./s ohne Einfluß auf die Empfindlichkeit. Da die Zähigkeit der Öle stark von der Temperatur abhängt, muß darauf geachtet werden, daß die Stromwärme des Magneten die Schleifeneinsätze nicht erwärmt, wenn es sich nicht nur um qualitative Kurvenaufnahmen handelt. Aus der Theorie wurde ein neues Verfahren abgeleitet, die Eigenfrequenz der Schleife bei fortgedachter Dämpfung, die infolge anhaftender Ölteilchen niedriger ist als die Eigenfrequenz in Luft, aus der Abhängigkeit der Empfindlichkeit mit der Frequenz zu ermitteln und danach den Dämpfungsgrad anzugeben.

60. Brücke für dielektrische Verluste[2]. Vom Verbande Deutscher Elektrotechniker war angeregt, die in der Reichsanstalt ausgebildete Brückenmethode zur Messung des dielektrischen Verlustes bei sehr kurzen Kabelstücken so zu entwickeln, daß die Messung auch an ganzen Fabrikationsstücken von mehreren hundert

[1]) Schering.

[2]) Schering, Burmester.

Digitized by Google

Meter Länge ausgeführt werden könnte. Der Weg, die Kapazität des Vergleichskondensators entsprechend zu vergrößern, erwies sich für hohe Spannungen bis 70 kV nicht als gangbar, weil bei diesen hohen Spannungen der Ladestrom in die großen Kabellängen so stark wird, daß die Brückenwiderstände überlastet werden würden.

Die in Fig. 4 dargestellte Änderung der Brücke führte besser zum Ziel. Der verlustfreie Vergleichskondensator C_2 hat eine kleine Kapazität von etwa 50 $\mu\mu$F, der Brückenzweig 3 besteht aus einem kleinen, induktionsfreien Widerstand n, dem parallelgeschaltet sind: der feste Widerstand r, ein Schleifdraht S und ein veränderlicher Widerstand ϱ. An dem Schleifdrahtkontakt liegt das Galvanometer. Es ist dann

$$C_1 = C_2 R_4 \frac{n + r + S + \varrho}{n(\varrho + \sigma)}, \qquad \operatorname{tg}\delta = R_4 \omega C_4 - \left[\frac{r + S - \sigma}{\varrho + \sigma} \cdot R_4 \omega C_2\right],$$

wobei σ der nach ϱ zu liegende abgegriffene Teil des Schleifdrahtes ist. Das Glied in der eckigen Klammer ist verschwindend klein, so daß für 50 Per./s und $R_4 = \frac{1000}{\pi}$ der $\operatorname{tg}\delta = 0{,}1 \cdot C_4 \cdot 10^6$ ist, also an dem Dreikurbelkondensator C_4 abgelesen werden kann. Es wurde ein Brückenkasten hergestellt mit den Widerständen $n = 30 - 10 - 3 - 1 - 0{,}3$, bei dem die Einstellung des gewünschten Wertes von n mit einer Kurbel vorgenommen wird, sodaß $n + r + S = 100\ \Omega$ ist. Messungen an Kondensatoren verschiedener Größe zeigten, daß die Brücke einwandfreie Werte gibt.

Fig. 4.

61. Die Bestimmung der Dielektrizitätskonstante keramischer Massen[1].

Der von der Isolierstoffkommission des Verbandes Deutscher Elektrotechniker eingesetzte Unterausschuß für Prüfvorschriften für keramische Isolierstoffe hat u. a. die Messung des dielektrischen Verlustes bei Hochspannung an Normalprüflingen ins Auge gefaßt. Bei der Messung des dielektrischen Verlustwinkels in der Wechselstrombrücke erhält man gleichzeitig die Kapazität C des Prüfkörpers. In der Reichsanstalt ist ein Verfahren ausgearbeitet, hieraus die Dielektrizitätskonstante ε zu ermitteln. Berechnet man aus der geometrischen Konfiguration des an dem Prüfling hergestellten „Meßkondensators" die Kapazität C_0 für $\varepsilon = 1$, so erhält man durch Division von C durch C_0 die Dielektrizitätskonstante ε des untersuchten Stoffes.

Die Reichsanstalt hat als Normalprüfling einen Hohlkörper vorgeschlagen, der aus einem Hohlzylinder mit einer Halbkugelschale als Boden und einem verdickten offenen Ende besteht. Die ungefähren Abmessungen des Prüfkörpers sind: Ganze Länge 17,0 cm, Länge des verdickten Endes 4,0 cm, lichte Weite 4,6 cm, Wandstärke des verdickten Endes 1,4 cm, Wandstärke des zylindrischen und halbkugelförmigen Teiles 0,7 cm. Die äußere Oberfläche des Prüflings ist bis einige Millimeter über den verdickten Rand mit einer dünnen Kupferschicht bespritzt. Nach einem besonderen Verfahren wird aus der Kupferhaut ein Trennring von etwa 0,5 cm Höhe in genau 12,00 cm über dem Boden herausgeätzt; der untere Teil ist dann die äußere Belegung des Meßkondensators von genau 12,00 cm Höhe und der obere Teil der Schutzring; als innere Belegung dient angesäuertes Wasser. Die Kapazität C_0 für die Dielektrizitätskonstante $\varepsilon = 1$ wird berechnet aus der Kapazität dieses Meßkondensators nach den bekannten Formeln für Zylinder- und Kugelkondensator aus Höhe, Radius und Wandstärke. Die mittlere Wandstärke d, welche der Messung direkt nicht zugänglich ist, wird aus dem Volumen des Meßkondensators durch Wasserverdrängung bestimmt. Mit Hilfe zweier Fluchtlinientafeln können C_0 und d direkt abgelesen werden, wenn r und V bekannt sind und die Höhe des Meßkondensators $h = 12{,}00$ cm beträgt.

Für die Ausführung der elektrischen Messung dient ein besonderes Schutzgehäuse, welches

[1]) Burmester.

Digitized by Google

die von der inneren, aus Wasser gebildeten Belegung ausgehenden unerwünschten Feldlinien abfängt. Es wurden Messungen bei 0,3 bis 25 kV und 50 Per./s an mehreren Porzellanen verschiedener Herkunft und Massenzusammensetzung ausgeführt. ε lag bei 6, der Verlustwinkel bei 1°. Bei 800 Per./s lagen die Werte von ε um fast 2% und die des Verlustwinkels um etwa 50% niedriger als bei 50 Per./s. Porzellan ist ein Gemisch von Stoffen, daher ist ε nicht eine physikalische Konstante wie bei homogenen Stoffen. Die Arbeit erscheint im *Archiv für Elektrotechnik* (Anhang 1, Nr. 12).

62. Ölprüfung[1]. In den Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker über die Prüfung von Transformatorenölen[2]) ist vorgeschrieben, daß das Prüfgefäß nebst Elektroden mit Benzol ausgewaschen werden soll. Es wurde nachgewiesen, daß bei dem Waschen mit Benzol — wahrscheinlich infolge der Abkühlung — eine Wasserhaut auf den Elektroden entsteht, welche die Durchschlagspannung des Öles herabsetzt und auch bei völlig trockenen und reinen Ölen Vorentladungen hervorruft. Die Feuchtigkeitshaut saß sehr fest und war nur durch nachdrückliches Trocknen vollständig zu beseitigen, dann aber wurden bei reinen Ölen Durchschlagfestigkeiten von über 400 kV/cm gemessen; Vorentladungen traten nicht auf.

Zur Untersuchung diente ein zylindrisches Glasgefäß, in welches die Elektroden, Stahlkugeln von 12,5 mm Durchmesser, mit Glasschliffen eingesetzt wurden, so daß ihr Abstand 3,0 mm betrug. Dieses Ölprüfgefäß konnte zuverlässig gereinigt und getrocknet werden.

Auch diese Untersuchung zeigt, mit welcher Vorsicht vorgegangen werden muß, wenn man die wirkliche Durchschlagsfestigkeit als Materialkonstante eines Öles bestimmen will, und daß diese für die technische Verwendbarkeit von geringer Bedeutung ist. Die technische Durchschlagsprobe kann lediglich als ein Kriterium des Reinheitsgrades des Öles dienen. Bei dieser Sachlage würde es die Prüfanordnung und die Ausführung der Prüfung wesentlich vereinfachen, wenn nicht die Bestimmung der Durchschlagspannung, sondern das Aushalten einer Mindestspannung oder einiger Spannungsstufen, die etwa den Reinheitsgrad als befriedigend oder gut charakterisierten, vorgeschrieben würde.

63. Braunsches Rohr[1]. Es wurde ein Braunsches Rohr mit Glühkathode und Sekundärkathode gebaut, welches die von letzterer ausgehende, sekundäre Kathodenstrahlung für Oszillographenzwecke benutzt. Die Anordnung der Elektroden und Striktionsspulen gestattete es, zwei Strahlen auf dem Leuchtschirm zu erhalten, und durch verschiedene Messungen nachzuweisen, daß es sich bei dem härteren Strahl um die primäre, bei dem weicheren Strahl um die sekundäre Emission handelt. (Näheres siehe *Physikal. Zeitschr.* **24.** *S. 239. 1923.*)

Die sekundäre Strahlung wurde nach Ablenken der primären Emission direkt auf eine photographische Platte fallen gelassen. Es zeigte sich, daß die verwendeten weichen Kathodenstrahlen von etwa 8000 bis 10000 V Geschwindigkeit in der Gelatineschicht der photographischen Platte stark absorbiert wurden, so daß nur die oberste Silberschicht ausgenutzt werden konnte. Es kam daher darauf an, die Dichte der Silberkörner an der Plattenoberfläche möglichst groß zu wählen. Von den im Handel befindlichen Platten waren Agfa-Rasterplatten und Röntgenfilme am geeignetsten. Bei einmaligem Überstreichen der Platte mit dem Kathodenstrahl bei einer Geschwindigkeit von etwa $2 \cdot 10^4$ mm/sec konnten noch Kurven erhalten werden. Versuche mit Schumann-Platten und Verstärkungsfolien sind im Gange.

64. Untersuchung von Dynamobürsten[3]. Die Untersuchung an Dynamobürsten wurde nach Fühlungnahme mit dem Zentralverband der Deutschen Elektrotechnischen Industrie vorläufig zurückgestellt, da eine Unterstützung seitens des Zentralverbands zurzeit ausgeschlossen ist.

65. Öldickenmesser[4]. Der im Tätigkeitsbericht 1922 (*diese Zeitschr.* **43.** *S. 87. 1923*) beschriebene Öldickenmesser wurde mit Unterstützung durch die Firma C. P. Goerz A. G. zu einem technischen Meßgerät durchgebildet. Fig. 5 zeigt den fertiggestellten Apparat. Über Einzelheiten der Konstruktion und über Anwendungsmöglichkeiten wird demnächst ausführlich berichtet werden.

[1]) Engelhardt. [2]) *Elektrotechn. Zeitschr.* **44.** *S. 601. 1923.*
[3]) V. Vieweg. [4]) V. Vieweg, Wetthauer.



66. Trennung von Luft- und Lagerreibung[1].

In jedem Lager entstehen Verluste durch die Reibung des umlaufenden Zapfens in der Lagerschale. Die Bestimmung der zu ihrer Deckung verbrauchten Energie begegnet dadurch Schwierigkeiten, daß die Luftreibung mit in das Meßergebnis eingeht. Verändert man jedoch durch Anwendung verschiedener Schmiermittel den Leistungsverbrauch im Lager einer Maschine und dadurch die Lagerübertemperatur, so kann bei Konstanthaltung der äußeren Bedingungen die Trennung von Luft- und Lagerreibung durchgeführt werden. Aus der Kurve der bei jedem Schmiermittel im stationären Zustande sich ergebenden Übertemperatur in Abhängigkeit von der Leistung wird durch Extrapolation auf die zur Übertemperatur 0° C gehörige Leistung geschlossen. Sie gibt nach Berücksichtigung der sonstigen Verluste ein Maß der Luftreibung. Durch Subtraktion dieser erhält man ein Maß für die bei jedem Schmiermittel unter den gegebenen Bedingungen entstandene Lagerreibung. (Anhang 1, Nr. 42.)

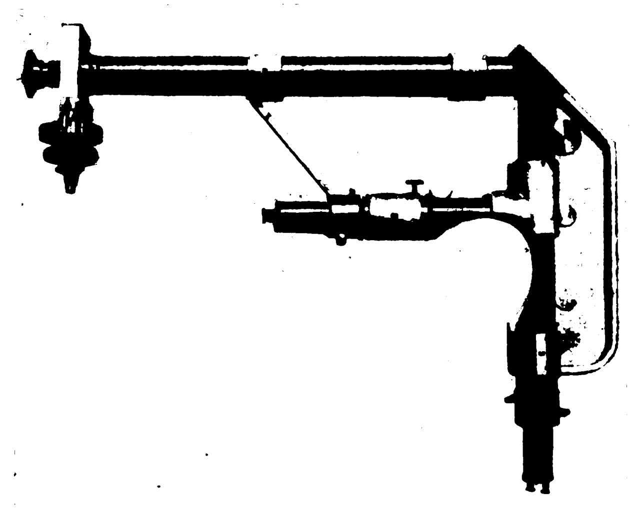


Fig. 5.

Die Stelle im Lager, an der die Übertemperatur gegen den Außenraum gemessen wird, ist an sich ohne Belang. Verfolgt man die Übertemperatur gleichzeitig an zwei Stellen, etwa — zur Erzielung möglichst großer relativer Meßgenauigkeit — an einem Orte I nahe der Welle, d. i. nahe der maximalen Öltemperatur, und an einem weiter außen gelegenen Orte II, so erhält man zwei Kurven der Übertemperatur, die denselben Luftreibungswert auf der Ordinatenachse abschneiden müssen. Man hat so eine gute Kontrolle der Messungen. Treten zusätzliche Erwärmungen auf, so wird über ihren Betrag gleichfalls durch die Lage des Schnittpunkts der beiden Übertemperaturkurven ein Urteil ermöglicht. Fig. 6 zeigt zwei Kurven der beschriebenen Art, die bei einem 2-kW-Gleichstrommotor im Leerlauf bei 1500 Umdr./min aufgenommen wurden. Auf die weitere Trennung in die auf Luftreibung, Bürstenreibung, Eisenverluste im Anker, Tachometerreibung einzeln entfallenden Beträge ist hierbei verzichtet worden.

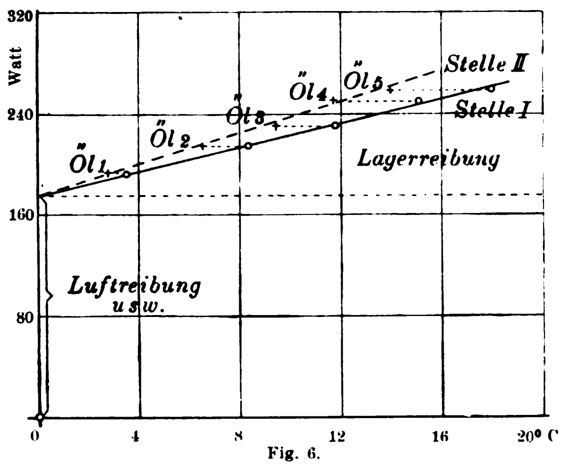


Fig. 6.

67. Schmierfähigkeit von Ölen[2].

Nachdem durch genaue Berücksichtigung der Luftreibung die Bestimmung der Lagerreibung bei Maschinen ermöglicht ist, kann nun auch der Einfluß der Eigenschaften der Öle auf die Lagerreibung in praktischen Fällen untersucht werden. Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen sind bei Mineralölen in weiten Grenzen der Drehzahl und der Zähigkeit die Verluste durch Lagerreibung der absoluten Zähigkeit der benutzten Öle direkt proportional. Genauere Untersuchungen werden insbesondere auch die Bedeutung der Oberflächenspannung der Öle für die Schmierung von Maschinen zu beurteilen gestatten.

---

[1]) V. Vieweg, R. Vieweg.

[2]) R. Vieweg.

Digitized by Google

68. Vibrationen umlaufender Wellen in Lagern[1]). Die Vibrationen, die eine Welle in einem Lager relativ zu ihm ausführt, können elektromagnetisch gemessen werden. Mit dem Lager wird ein Eisenjoch starr verbunden, dessen beide Enden dicht über der Welle stehen. Über das Joch sind zwei Spulen geschoben, deren eine mit Gleichstrom beschickt wird. Bei jeder Änderung des magnetischen Flusses, wie sie z. B. durch die von Vibrationen der Welle hervorgerufene Vergrößerung oder Verkleinerung des Luftspaltes zwischen Joch und Welle bedingt wird, erhält man in der zweiten Spule einen Induktionsstrom, der im Oszillographen zur Messung gelangt und ein Maß der Vibrationen gibt. Die Einstellung der Meßempfindlichkeit erfolgt durch Eichung mit Wechselstrom bei ruhender Welle. Das Verfahren wird zu Lageruntersuchungen angewandt, über die später berichtet werden soll.

69. Zusätzliche Verluste in Drehstromasynchronmotoren[2]). Die oben erwähnten Untersuchungen über Lagerreibung haben gezeigt, daß man die Verluste durch Lagerreibung bei beliebiger Belastung einer Maschine bestimmen kann. Danach scheint es aussichtsreich, die zusätzlichen Verluste, die mitunter auf zusätzliche Lagerreibung zurückgeführt worden sind, erneut zu untersuchen. Es wird angestrebt, durch Messung der Zahnpulsationsverluste im Leerlauf diese Frage zu klären, die insofern von Bedeutung ist, als der vom Verband Deutscher Elektrotechniker angegebene Durchschnittswert der zusätzlichen Verluste bei kleinen Motoren meist um das Mehrfache überschritten wird.

70. Eisenverluste bei gleichzeitiger Magnetisierung durch Ströme verschiedener Frequenzen[3]). Da die zusätzlichen Verluste in elektrischen Maschinen zum großen Teil auf erhöhte Magnetisierungsverluste im Eisen infolge von Oberschwingungen zurückgeführt werden, wurden die Eisenverluste bei gleichzeitiger Magnetisierung durch Wechselströme und zwar von 50 und 550 Perioden bestimmt. Eine besondere Schaltung mittels zweier Transformatoren erlaubte eine getrennte Messung der Verluste in den beiden Stromkreisen. Ein transformatorischer Einfluß der beiden Ströme aufeinander war durch die Schaltung verhindert. Es zeigte sich, daß die Verluste im 50 ∿ Kreis abnahmen, wenn der 550 ∿ Kreis zugeschaltet wurde. Trotzdem war der Gesamtverlust in beiden Kreisen größer als die Summe der Einzelverluste bei getrennter Magnetisierung. Diese Erscheinungen konnten auf das Verhalten der Hystereseverluste zurückgeführt werden. Die Ergebnisse sind im einzelnen in einer im Archiv für Elektrotechnik erscheinenden Arbeit zusammengestellt (Anhang 1, Nr. 38).

71. Drehzahl- und Schlüpfungsmessung mit der Glimmlampe[4]). Das von H. Schering und V. Vieweg (vgl. Tätigkeitsbericht 1919, *diese Zeitschr.* **40.** *S. 139. 1920*) angegebene Verfahren, Glimmlampen zur Schlüpfungsmessung zu benutzen, wurde allgemein für Drehzahlbestimmungen erweitert. Die verlustlose Messung ist besonders bei sehr kleinen Motoren von Vorteil. Die Regelung der Blinkfrequenz erfolgte außer durch Speisung der Lampe mit Wechselstrom auch durch Gleichstrom. Hierbei liegt ein Kondensator parallel zur Lampe während ihr ein hoher Widerstand vorgeschaltet ist. Veränderung von Spannung, Widerstand und Kapazität gestattet, die Blinkfrequenz in weitem Bereich zu variieren (Anhang 1, Nr. 39).

72. Verbesserung der magnetischen Meßeinrichtungen[5]). Die schon früher begonnenen Versuche zur Verbesserung der magnetischen Meßeinrichtungen, durch welche es ermöglicht werden sollte, bei der Untersuchung von magnetisch sehr weichem Material die bisherigen Ungenauigkeiten der Jochscherung zu verringern, wurden unter Zuhilfenahme des magnetischen Spannungsmessers fortgesetzt; sie konnten jedoch vorläufig noch nicht zum Abschluß gebracht werden, da für die Messung der außerordentlich kleinen, hierbei in Betracht kommenden wahren Feldstärken von einigen tausendstel Gauß die Empfindlichkeit der zur Verfügung stehenden ballistischen Galvanometer nicht ausreichte. Die von anderer Seite durchgeführte Verbesserung des astatischen Nadelgalvanometers verspricht auch für die vorliegende Aufgabe eine erhebliche Förderung.

Die Bestimmung der sogenannten „Anfangspermeabilität", d. h. der Permeabilität für sehr kleine Feldstärken, geschah bisher nur nach einem in der Reichsanstalt früher ausgearbeiteten Verfahren, bei welchem ein zylindrischer Stab von gegebenem Dimensionsverhältnis ($l/d = 55$) auf ein Ellipsoid vom gleichen Dimensionsverhältnis bezogen wurde, das in bezug auf die Bestimmung der wahren Feldstärke der Rechnung zugänglich ist. Da jedoch diese Annäherungsmethode, die sich bei den früher erzielten Werten für die Anfangspermeabilität gut bewährt hatte, naturgemäß um so ungenauer wird, je höher die Anfangspermeabilität steigt, so erschien es geboten, noch ein

[1]) Steinhaus, R. Vieweg. [2]) V. Vieweg, Schröter. [3]) Schröter.
[4]) Schröter, R. Vieweg. [5]) Gumlich, Steinhaus.

Digitized by Google

neues Verfahren zum Vergleich heranzuziehen, bei welchem Drähte von 40—50 cm Länge und 1 mm Durchmesser einer Wechselmagnetisierung von 20 Pe./s unterworfen wurden. Bei dieser Wechselzahl spielen Störungen durch Wirbelströme und magnetische Nachwirkungen noch keine ausschlaggebende Rolle, andererseits aber ist es bei dem günstigen Dimensionsverhältnis (400 bis 500) möglich, die zur Bestimmung der wahren Feldstärke notwendigen Korrektionen mit hinreichender Sicherheit rechnerisch zu ermitteln. Auch für die Durchführung der Glühprozesse im Vakuum, bei welchen zur Temperaturbestimmung ein optisches Pyrometer benutzt wurde, erwies sich die Drahtform der Proben als sehr bequem. Zur Magnetisierung diente eine mit Metallband bewickelte Spule von 80 cm Länge mit der Feldstärkenkonstante = 1, die Induktion ließ sich in bekannter Weise aus der Spannung an den Enden einer Sekundärspule von etwa 2000 Windungen berechnen, welche die Mitte des Drahtes umschloß. Diese Spannung wurde nach einer Kompensationsmethode mit dem Vibrationsgalvanometer gemessen, dem zur Erzielung der nötigen Stromstärke eine Verstärkervorrichtung aus zwei Röhren vorgeschaltet wurde. Nach Überwindung beträchtlicher Schwierigkeiten, zu deren Beseitigung Herr Schering erheblich beitrug, gelang es, bei Material mit hoher Anfangspermeabilität auch für Feldstärken von nur wenigen tausendstel Gauß eine Einstellungsgenauigkeit von etwa 1 ‰ zu erzielen.

73. Einfluß der chemischen Zusammensetzung und thermischen Behandlung auf die Magnetisierbarkeit von Eisenlegierungen[1].

Wie schon aus dem Vorstehenden hervorgeht, war das hauptsächlichste Ziel der im Gang befindlichen Untersuchungen die Gewinnung eines Materials mit besonders hoher Anfangspermeabilität, doch wurden von den behandelten Materialien auch die wichtigsten übrigen Eigenschaften, namentlich Koerzitivkraft, elektrischer Widerstand und nach Bedarf auch der Verlauf der ganzen Hystereseschleife ermittelt. Die zur Untersuchung notwendigen Proben lieferte zumeist die Vakuumschmelze G. m. b. H., die mechanische Bearbeitung erfolgte mittels einer von der Technischen Hochschule Charlottenburg zur Verfügung gestellten Hämmermaschine, die verschiedenen Glühverfahren, deren Einfluß sich als außerordentlich wichtig erwies, wurden in der Reichsanstalt selbst durchgeführt. Über das Ergebnis der noch nicht abgeschlossenen Versuche kann vorläufig nur soviel gesagt werden, daß es möglich war, durch geeignete mechanische und thermische Behandlung bestimmter Legierungen Anfangspermeabilitäten von 4000 bis 5000 zu erzielen, also etwa das 8- bis 10fache der Werte, welche bisher die besten Materialien ergeben hatten.

74. Bestimmung der Entmagnetisierungsfaktoren kreiszylindrischer Stäbe[1].

Die zur angenäherten Bestimmung der Magnetisierbarkeit kreiszylindrischer Stäbe in freier Spule benutzten sogenannten Entmagnetisierungsfaktoren sind zumeist nach den magnetometrischen Verfahren bestimmt worden (du Bois, R. Mann); sie sind aber wegen der ungleichmäßigen Verteilung der Induktion innerhalb des Stabes für ballistische Messungen nicht brauchbar und haben schon zu erheblichen Fehlern Veranlassung gegeben. Es schien deshalb erwünscht, diese Bestimmung an einem magnetisch weichen und möglichst gleichmäßigen Material für sehr verschiedene Dimensionsverhältnisse ballistisch zu wiederholen, indem man von zwei identischen zylindrischen Stäben von 40 cm Länge und 0,4 cm Durchmesser den einen zum Ellipsoid abdrehte, den andern immer weiter verkürzte und mit einer direkt auf die Mitte aufgewickelten Spule ballistisch untersuchte. Die Messungen sind noch nicht beendigt.

Abteilung III.

Unterabteilung IIIa.

75. Zustandsgleichung der Gase[2].

Bei der Untersuchung der Isothermen des Heliums zwischen 0° und 100° hatte sich ergeben, daß die Neigung dieser Linien für kleine Drucke mit zunehmender Temperatur abnimmt. Es steht dieses Verhalten im Gegensatz zu der Vorstellung, die auf Grund der van der Waalsschen Zustandsgleichung den Gasen oberhalb des Boyle-Punktes, wo die Neigung Null wird, eine bis zu einem gewissen Grenzwert wachsende Neigung zuweist. Es war zu prüfen, ob sich andere Gase ähnlich dem Helium verhalten, wenn die Beobachtung ihrer Isothermen entsprechend der höheren kritischen Temperatur auf höhere Temperaturen ausgedehnt wird.

Da die zwischen 0° und 200° bisher benutzte Anordnung mit dem Piezometer für höhere Temperaturen eine unhandlich große Heizvorrichtung erforderte, wurde als Hochdruckgefäß jetzt ein starkwandiger eiserner Zylinder gewählt. Er wurde zunächst mit Stickstoff gefüllt, und die

[1]) Gumlich, Steinhaus. [2]) Holborn, Otto.

Digitized by Google

neuen pv-Werte konnten mit den Ergebnissen verglichen werden, welche früher mit dem Glasgefäß des Piezometers zwischen 0° und 100° erzielt waren. Alsdann wurden im eisernen Gefäß außer Stickstoff noch Helium und ein Neon-Heliumgemisch (72% Ne) bis 400°, ferner Wasserstoff bei 200° und Argon bei 300° untersucht. Dabei ergab sich, daß die Anfangsneigung der Isothermen mit steigender Temperatur für Helium bis 400° weiter abnimmt und ein Maximum erreicht für Neon bei etwa 300° und für Wasserstoff wahrscheinlich bei etwa 150°. Für Stickstoff kommt bis 400° das Maximum entsprechend der hohen kritischen Temperatur noch nicht zur Beobachtung, doch läßt sich sein Eintreten bei höherer Temperatur aus dem ganzen Verlauf der Werte erwarten.

Die Beobachtungen, die bisher zwischen 0° und 400° angestellt wurden, lassen sich bis zu einem Drucke p von 76 m Hg durch quadratische Gleichungen von der Form

$$pv = A + Bp + Cp^2,$$

vielfach auch durch lineare, genügend genau darstellen. Die hieraus berechneten Werte für $B \cdot 10^5$ sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

t	He	H_2	Ne	N_2	Luft	Ar	O_2
0°	+ 69,5	+ 82,1	+ 69,8	− 60,7	− 79,3	− 130	− 130,1
50	68,9	89,0	—	− 1,5	− 18,5	− 64,8	− 63,5
100	66,8	91,4	76,8	+ 36,1	+ 20,9	− 25,2	− 20,4
150	—	—	—	67,7	50,0	+ 6,8	+ 0,1
200	64,9	92,2	80,1	90,1	72,3	27,4	+ 16,9
300	61,6		83,0	121,3			
400	59,5		78,9	138,1			

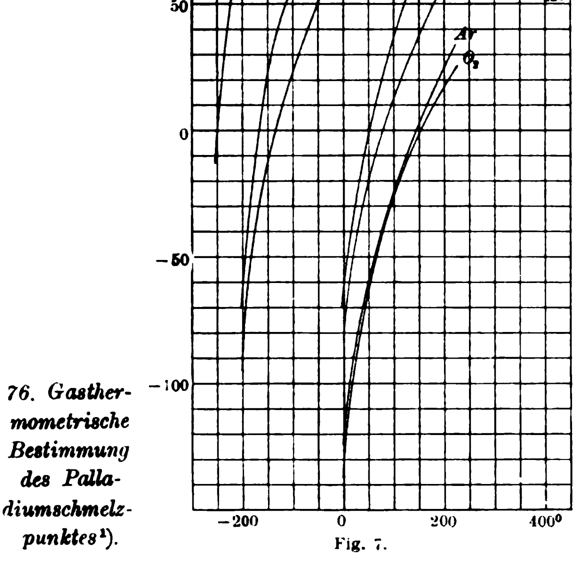


Fig. 7.

Durch weitere Beobachtungen sind noch die Werte von Argon zu ergänzen; Wasserstoff läßt sich oberhalb 200° in dem eisernen Gefäß nicht beobachten.

In der Fig. 7 ist die Größe

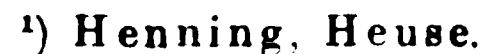
$$B \cdot 10^5 = [d(vp)/dp]_{p=0} \cdot 10^5$$

in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Unterhalb 0°, wo bisher noch eigne Beobachtungen fehlen, sind ausgenommen für Luft die im Leidener Laboratorium gewonnenen Zahlen hinzugenommen. Die sonst noch in der Literatur vorhandenen Ergebnisse sind spärlich und ungenau, so daß die Figur die Unterlagen vollständig enthalten dürfte, welche für die Zurückführung der gasthermometrischen Messungen auf die thermodynamische Skale in Frage kommen.

Hiernach ist die Annahme nicht von der Hand zu weisen, daß die Anfangsneigung der Isothermen für alle Gase von einer gewissen Temperatur ab immer weiter mit wachsender Temperatur abnimmt und daß sich die wirklichen Gase in bezug auf ihre Abweichung vom Boyleschen Gesetz dem vollkommenen Zustande bei hoher Temperatur nähern.

76. Gasthermometrische Bestimmung des Palladiumschmelzpunktes[1]).

Die gasthermometrische Anordnung und der elektrische Ofen wurden zunächst beim Goldschmelzpunkt geprüft. Durch Zusatzheizungen gelang es, die Temperaturunterschiede längs des Gasthermometergefäßes auf etwa 3° herabzudrücken; doch zeigten sich, offenbar durch ungleiche Dicke der Platinheizhaut des Ofens verursacht, in den Ebenen senkrecht zur Ofenachse Temperaturunterschiede bis zu 8°. Der Goldschmelzpunkt wurde mit dem Platiniridiumgefäß von 250 ccm Inhalt, dessen Heliumfüllung 220 mm Hg bei 0° betrug, zu 1063,8° ± 1,0° gefunden.



[1]) Henning, Heuse.

Digitized by Google

Beim Palladiumschmelzpunkt blieb die Temperaturverteilung senkrecht zur Ofenachse nahezu unverändert; parallel zur Achse gelang es indessen noch nicht, die Ungleichmäßigkeit auf weniger als 18° zu erniedrigen. Weitere Versuche in dieser Richtung wurden abgebrochen, nachdem sich herausgestellt hatte, daß das Platiniridiumgefäß, welches vor der Füllung mit Helium nur bis 1100° geheizt und entgast war, bei stärkerer Heizung beträchtliche Gasmengen abgab, die bei langsamer Abkühlung zum großen Teil von dem Metall wieder aufgenommen wurden. Nach einstündigem Heizen auf etwa 1300° stellte sich in dem anfangs gut evakuierten Gefäß ein Gasdruck von etwa 8 mm ein. Nach Abpumpen dieses Gases wiederholte sich bei erneuter Heizung die Gasabgabe in nur wenig vermindertem Maße. Der Verdacht, daß etwa in der äußeren Asbesthülle des Ofens gewisse Gase enthalten sind, die in das Platiniridiumgefäß eindringen, erwies sich nicht als stichhaltig, da ein Ersatz des Asbestmantels durch einen Eisenmantel keine Änderung der beobachteten Erscheinung bewirkte.

Zur einwandfreien Messung des Palladiumschmelzpunktes erscheint es unerläßlich, das Gefäß bei mindestens 1560° zu entgasen. Ohne Gefährdung des Gefäßes kann dies indessen nur durchgeführt werden, wenn der äußere Druck den inneren nicht wesentlich überschreitet. Aus diesem Grunde wurde ein druckfester Eisenbehälter zur Aufnahme des Heizofens und des Platiniridiumgefäßes hergerichtet, der während des Heizens evakuiert werden kann.

77. Gültigkeit der Callendarschen Formel unter 0° und der Quecksilberschmelzpunkt[1].

Veranlaßt durch eine Bemerkung von G. Holst über den Quecksilberschmelzpunkt, durch die in Frage gestellt wird, ob die Callendarsche quadratische Gleichung für das Platinwiderstandsthermometer bis herab zur Temperatur des Quecksilberpunktes gültig ist, wurde wegen der Wichtigkeit dieser Frage für die Temperaturskale eine neue Vergleichung der Platinwiderstandsthermometer Nr. 29 und 30 mit dem Gasthermometer vorgenommen. Während bei der früheren (1913) Beobachtungsreihe Wasserstoff in einem Glasgefäß (59^{III}) von 100 ccm Inhalt und einem Druck von etwa einer Atmosphäre bei 0° als Meßgas diente, wurde die neue Messung mit Helium in einem Glasgefäß (59^{III}) von 300 ccm Inhalt und einem Druck von 1000 mm bei 0° durchgeführt. Bezeichnet man die Temperatur nach der Callendarschen Gleichung mit t_c, die gasthermometrische Temperatur mit t_g, so ergab sich

t_g	t_c	$t_g - t_c$
$-36{,}05_0$°	$-36{,}05_5$°	$+0{,}00_5$
$-40{,}74_8$	$-40{,}75_5$	$+0{,}00_7$
$-42{,}22_7$	$-42{,}24_9$	$+0{,}02_2$
$-55{,}08_6$	$-55{,}10_6$	$+0{,}02_0$
$-65{,}55_6$	$-65{,}60_9$	$+0{,}05_3$

Hiermit stimmen die früheren Beobachtungen innerhalb der Fehlergrenzen der gasthermometrischen Messungen überein. Eine graphische Darstellung, in der man die neueren Beobachtungen mit den älteren vereinigt, zeigt, daß die Callendarsche Formel am Quecksilberschmelzpunkt auf weniger als 0,01° richtige Werte liefert.

Im Anschluß an die letzte Vergleichung der Platinthermometer Nr. 29 und 30 mit dem Heliumthermometer wurde eine neue Bestimmung des Quecksilberschmelzpunktes mittels jener beiden Platinthermometer vorgenommen, zu der auch noch die früher für den gleichen Zweck verwendeten Platinthermometer Nr. 26 und 31 herangezogen wurden. Bei dieser Gelegenheit wurde festgestellt, daß sich in den letzten 10 Jahren die Eispunkte der Thermometer Nr. 26, 29 und 31 auf weniger als $^1/_{100000}$ des Wertes und ihre Temperaturkoeffizienten (zwischen 0 und 100°) auf weniger als $^1/_{10000}$ konstant gehalten hatten.

Bei derselben Art der Auswertung und Berechnung ergibt sich in der Skale der Callendarschen Formel im Mittel aus den Messungen

$$\text{vom Jahre 1913} \quad t_c = -38{,}88_0{}^0$$
$$\text{vom Jahre 1923} \quad t_c = -38{,}87_1.$$

Da kein Grund besteht, die neueren Messungen vor den älteren zu bevorzugen, so muß als wahrscheinlichster Wert für den Quecksilberschmelzpunkt das Mittel $t_c = -38{,}87_5{}^0$ angenommen werden. Diese Zahl ist in Rücksicht auf den kleinen Unterschied zwischen der Temperatur nach der

[1]) Henning, Heuse.

Digitized by Google

Callendarschen Formel und der Temperatur des Gasthermometers auf $t = -38{,}87^0$ abzurunden, um die wahre Temperatur des Quecksilberschmelzpunktes zu erhalten. In der im Jahre 1913 veröffentlichten Mitteilung wurde der Quecksilberschmelzpunkt zu $t = -38{,}89^0$ angegeben. Etwa die Hälfte des Unterschiedes beider Zahlen ist in der Art der Auswertung der Beobachtungen und der Berechnung der Callendartemperatur begründet.

78. Siedepunkt des Wasserstoffs[1]). Der Siedepunkt des Wasserstoffs, der bereits im Jahre 1913 mit zwei Heliumthermometern von etwa 100 ccm Gefäßvolumen und etwa 750 mm Gasdruck bei 0° gemessen wurde, ist bei verbesserter Anordnung mit einem Heliumthermometer von 300 ccm Gefäßvolumen und einem Gasdruck von 1000 mm bei 0° von neuem bestimmt worden. Die normale Siedetemperatur t ergab sich jetzt zu $-252{,}83^0$. Bringt man die von Kamerlingh Onnes und Cath abgeleitete Korrektion des Heliumthermometers auf die thermodynamische Skale an, so erhält man $t = -252{,}79^0$. Aus den in derselben Weise berechneten früheren Beobachtungen folgte in guter Übereinstimmung hiermit $t = -252{,}77^0$, so daß $t = -252{,}78^0$ als der wahrscheinliche Wert anzusehen ist.

79. Definition der Temperaturskale unter 0°[2]). Infolge der Wiederaufnahme der Besprechungen über die Festsetzung einer internationalen Temperaturskale wurde von neuem die Frage in Angriff genommen, wie der Widerstand des reinen Platins zwischen den gewählten Fixpunkten, nämlich dem Schmelzpunkt des Quecksilbers, dem Sublimationspunkt der Kohlensäure und dem Siedepunkt des Sauerstoffs, zu interpolieren ist. Es zeigte sich, daß im Gebiet von 0 bis -193^0 zwischen dem Widerstand R eines Platinthermometers und der Temperatur t die Beziehung

$$R_t = R_0\,[1 + at + bt^2 + ct^4]$$

besteht, deren Konstanten a, b und c durch Eichung des Thermometers bei den genannten drei Fixpunkten zu bestimmen sind. Die Formel stellt alle hier durchgeführten Vergleichungen von Platinthermometern mit den Gasthermometern innerhalb der Beobachtungsfehler dar und kann das früher angegebene graphische Interpolationsverfahren ersetzen. Zwischen 0 und -40^0 steht sie in sehr naher Übereinstimmung mit der Callendarschen Gleichung. Für das Thermometer Nr. 32 haben die Konstanten die Werte:

$$a = 0{,}396891; \quad b = 0{,}006602; \quad c = 0{,}0004816.$$

80. Sättigungsdruck von Sauerstoff und Stickstoff[1]). Die Messungen von Sättigungsdrucken in tiefer Temperatur mußten so lange ausgesetzt werden, wie die manometrische Einrichtung des Gasthermometers für die Anordnung zur Bestimmung des Palladiumschmelzpunktes benötigt wurde. Als sie für kurze Zeit wieder aufgenommen werden konnten, wurden bei neuer Heliumfüllung des Gasthermometers die bereits im vorigen Bericht mitgeteilten Ergebnisse bestätigt. Es stellte sich aber heraus, daß es bei den vorhandenen Vakuummantelgefäßen und verfügbaren Pumpen nicht möglich war, die Temperatur -205^0 wesentlich zu unterschreiten, so daß diese Untersuchung einstweilen nicht weiter fortgesetzt werden kann.

81. Mikropyrometer[1]). Mit Hilfe der Firma Schmidt & Haensch wurde ein neues Mikropyrometer angefertigt, das gegenüber dem älteren, im Bericht vom Jahre 1921 erwähnten Instrument den Vorzug spektraler Zerlegung des Lichts besitzt. Das Prinzip ist das gleiche wie beim Holborn-Kurlbaumschen Glühfadenpyrometer. Durch Verwendung verschiedener Objektivlinsen läßt sich das Instrument bei verschiedenen Vergrößerungen (bis etwa 23fach linear) benutzen. Da bei dem Auswechseln der Linsen die scheinbare Helligkeit des Objekts ungeändert bleibt, so können die Pyrometerlampen in dem Instrument selbst mit dem schwarzen Körper geeicht werden, was bei der früheren Konstruktion wegen des zu geringen Objektabstandes nicht möglich war. Das Pyrometer wurde durch vier wenig selektive Graufilter vervollständigt, die das Glaswerk Schott u. Gen. zur Verfügung stellte. Die Durchlässigkeit dieser Gläser aus der Schmelze 12554 ist im ganzen sichtbaren Gebiet sorgfältig bestimmt worden.

Mit dem Instrument soll die schwarze Temperatur schmaler Wolframbänder in Abhängigkeit von der Stromstärke gemessen werden, um neben dem schwarzen Körper ein sekundäres Normal für die strahlungstheoretische Grundlage der Temperaturskale herzustellen.

82. Strahlungseigenschaften von Aluminium- und Magnesiumoxyd[1]). Es wurde das Absorptions- und Emissionsvermögen von durchsichtigen Körpern, insbesondere von synthetischem Rubin (Aluminiumoxyd mit Beimischung von Chromoxyd) mit dem neuen Mikro-

[1]) Henning, Heuse. [2]) Henning.



pyrometer untersucht. Die Ergebnisse der bereits veröffentlichten Untersuchung (Anhang Nr. 70) sind im wesentlichen folgende: Der Rubin besitzt bei Zimmertemperatur ein ziemlich scharfes Absorptionsgebiet im Grün, dessen Maximum bei $\lambda = 0{,}53\,\mu$ liegt. Mit zunehmender Temperatur verbreitert sich das Absorptionsgebiet rasch, so daß bei $t = 1100^0$ die Durchlässigkeit des Rubins im ganzen sichtbaren Gebiet nur wenig von der Wellenlänge abhängt. Das Absorptionsvermögen besitzt nur noch ein flaches Maximum bei etwa $\lambda = 0{,}58\,\mu$. Während das Absorptionsvermögen des Rubins besonders im Rot stark mit der Temperatur wächst, besitzt sein Reflexionsvermögen einen verhältnismäßig kleinen Temperaturkoeffizienten, dessen Vorzeichen mit der Wellenlänge wechselt. Das Emissionsvermögen des Rubins erwies sich bei der kürzesten in Betracht gezogenen Wellenlänge ($\lambda = 0{,}525\,\mu$) als unabhängig von der Temperatur. Bei größeren Wellenlängen des sichtbaren Spektrums wächst es mit der Wellenlänge um so stärker, je länger die Welle ist. Bei 1100^0 strahlt eine etwa 9 mm dicke Schicht des untersuchten Rubins im sichtbaren Gebiet nahezu wie ein grauer Körper vom Emissionsvermögen 0,8.

Synthetischer wasserklarer Saphir (reines Aluminiumoxyd) strahlt im sichtbaren Gebiet nicht. Das gleiche gilt von Glas und Quarzglas. Die erhitzte undurchsichtige Magnesia besitzt im sichtbaren Gebiet nur das Emissionsvermögen 0,02.

Im Ultrarot (jenseits $4\,\mu$) weisen Rubin und Saphir kräftige Absorptionsbanden auf. Dies liefern den Hauptteil der Gesamtstrahlung, die für beide Körper praktisch denselben Wert besitzt. Auch Magnesia emittiert jenseits $4\,\mu$ beträchtlich; ihr Emissionsvermögen erreicht in diesem Spektralgebiet Werte, die über 0,3 liegen.

83. Strahlung von Wolfram und Platin [1]).

Die endgültigen Messungen ergaben das Emissionsvermögen der beiden Metalle unabhängig von der Temperatur (bei Platin zwischen Zimmertemperatur und 1710^0, bei Wolfram zwischen 2000 und 3200^0):

Metall	Emissionsvermögen	
	$\lambda = 0{,}647$	$\lambda = 0{,}536$
Platin . . .	0,348	0,363
Wolfram . .	0,49	0,49

Der Schmelzpunkt des Wolframs wurde zu 3370^0 C ermittelt. Die Untersuchung ist veröffentlicht (vgl. Anhang 1 Nr. 69).

84. Diffusion von Helium durch Glas [2]).

Die im vorigen Bericht erwähnten Versuche wurden im Laufe des Jahres 1923 fortgesetzt. Es zeigte sich nach etwa 300 Tagen keine merkliche Abnahme des Druckes in den Thermometergefäßen; auch konnte in den umgebenden Vakuummänteln kein Helium spektroskopisch nachgewiesen werden.

85. Druckabfall von Gasen und Flüssigkeiten beim Strömen durch Rohre [3]).

Die Versuche über die Strömung von Gasen und Flüssigkeiten in glatten Rohren wurden in der Versuchsanstalt für Wassermotoren der hiesigen Technischen Hochschule fortgesetzt, deren Einrichtung Herr Professor E. Reichel freundlichst zur Verfügung stellte.

Wasser aus dem Landwehrkanal wurde durch eine elektrisch betriebene Zentrifugalpumpe in eine etwa 5 m hoch gelegene Rinne mit Überlauf gepumpt, strömte dann durch ein weites Fallrohr in die horizontale Versuchsleitung und von dieser in ein unter dem Fußboden liegendes gemauertes Meßbecken von 41 qm Grundfläche, dessen Wasserhöhe durch einen Schwimmer mit Skale und Nonius gemessen werden konnte.

An den beiden Messingrohren von 70 und 100 mm lichter Weite wurden 40 Versuche ausgeführt, bei denen der zu Wassergeschwindigkeiten von 1 4 bis 5,2 $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ gehörige Druckabfall und die durchströmende Wassermenge bestimmt wurde.

Strömt in der Zeiteinheit die Flüssigkeitsmenge V von der Dichte γ und der kinematischen Zähigkeit ν $(= \eta\,\gamma)$ durch das Rohr von der Weite d mit der Geschwindigkeit u und tritt auf der Strecke l der Druckabfall h auf, so gilt die Beziehung

$$\frac{h}{\gamma} = 8\,\lambda\,\frac{V^2}{\pi^2\,d^4\,\gamma}\,\frac{l}{d}\,.$$

[1]) Henning, Heuse. [2]) Heuse. [3]) Jakob, Erk.

Digitized by Google

Für λ hatte **Blasius** die Beziehung

$$\lambda = 0{,}3164\, R^{-0{,}25}$$

angegeben, wo $R = ud/\nu$ die **Reynoldsche** Zahl bedeutet. Die früheren Versuche der Reichsanstalt, die bis $R = 70000$ reichten, ließen sich mit dieser Gleichung vereinigen, die neuen, die bis $R = 462000$ gehen, jedoch nicht. Diese stimmen dagegen mit einer mittleren Genauigkeit von $\pm 1\%$ in λ, entsprechend $\pm 0{,}6\%$ in u überein mit der von **Lees** abgeleiteten Gleichung[1])

$$\lambda = 0{,}00714 + 0{,}6104\, R^{-0{,}35},$$

die auf den Messungen beruht, welche **Stanton** und **Pannell**[2]) im National Physical Laboratory bis zu $R = 430000$ mit Luft und Wasser angestellt haben. Neuere Versuche, die **Schiller**[3]) bis $R = 350000$ vornahm, weichen davon ab; der Unterschied geht bis zu 9%.

86. Durchflußziffer von Düsen[4]).

Nachdem das Strömungsgesetz untersucht war, konnte die Durchflußziffer α der Düsen bestimmt werden, die im vorigen Jahre in ein und demselben Luftstrome mit den glatten Rohren verglichen waren. Beträgt der Druckabfall an der Düse h, ihre kleinste Weite d, so gilt für das in der Zeiteinheit durchströmende Volumen V die Beziehung

$$V = \alpha \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2gh}{\gamma}}.$$

Die Rechnungen, die wegen der Berücksichtigung der Beschleunigung der Luft in den Rohren und wegen der nicht einfachen Form der Funktion λ nach einem Annäherungsverfahren durchgeführt werden müssen, ergaben in dem Bereich der Versuche von der **Reynoldschen** Zahl $R = 60000$ bis 300000 für die Normaldüsen des Vereins deutscher Ingenieure $\alpha = 0{,}96$. Die 37 Versuchspunkte weichen von diesem Wert im Mittel um $\pm 0{,}8\%$ ab, und zwar ist keinerlei systematischer Einfluß des Düsendurchmessers ($d = 70$, 140 und 200 mm), der Art des Einbaus der Düsen (Durchflußdüse oder Ausflußdüse) festzustellen. Bisher hatte man $\alpha = 0{,}97$ bis 0,995 angenommen, also etwa 2% zu groß. Hätte man die alte Beziehung nach **Blasius** für den Druckabfall im Rohr in dem vorliegenden Versuchsbereich beibehalten, so würde man für die Normaldüsen zwischen $R = 100000$ und 300000 eine Zunahme des Wertes α von $0{,}98_5$ bis $1{,}02_5$, also sehr unwahrscheinliche Ergebnisse, erhalten haben. Für die ferner untersuchte kürzere Düse (**Hinzdüse**) von 80 mm Durchmesser wurde von $R = 110000$ bis 380000 die Durchflußziffer $\alpha = 0{,}94_5$ ermittelt (mittlere Abweichung $\pm 0{,}3\%$).

Die Untersuchung wurde unterstützt vom **Verein deutscher Ingenieure**, dem von verschiedenen Verbänden die erforderlichen Mittel zur Verfügung gestellt waren.

Der Versuchsbericht ist im Druck.

87. Wärmeleitvermögen fester Stoffe[4]).

Nach dem in den vorigen Berichten beschriebenen Verfahren wurde eine Aluminiumlegierung (Skleron) und 17 keramische Massen untersucht, deren Wärmeleitfähigkeit bei rund 28° zwischen 0,0021 und 0,0067 lag. Ein Teil der Versuchsergebnisse ist nebst vielen anderen physikalischen Daten der betreffenden Stoffe von anderer Seite veröffentlicht worden[5]).

Sehr poröse Stoffe gestatteten bisher noch nicht die Anwendung von geschmolzenem Paraffin zur Verbesserung des Wärmeüberganges zwischen der Versuchsplatte und den anliegenden Kupferscheiben. Diese Schwierigkeit wurde durch Einlage einer Zinnfolie von 0,015 mm Dicke zwischen die Versuchsplatte und das Paraffin behoben.

88. Neuer Apparat zur Bestimmung des Wärmeleitvermögens fester Stoffe[6]).

Einen wesentlichen Bestandteil des bisher zur Bestimmung des Wärmeleitvermögens verwendeten Apparats bildet ein großes zum Wärmeschutz über die Versuchsanordnung gestülptes Vakuummantelgefäß aus Glas. Um von diesem Gefäß, für das bei Bruch schwer Ersatz zu beschaffen war, unabhängig zu werden und um ferner Messungen bei höheren Temperaturen zu er-

---

1) Ch. H. **Lees**, *Proc. Roy. Soc. London (A)* ***91.*** *S. 46. 1915.* (Das erste Glied auf der rechten Seite der Gleichung ist geringfügig geändert.)

2) T. E. **Stanton** und J. R. **Pannell**, *Phil. Trans. Roy. Soc. London (A)* ***214.*** *S. 199. 1914.*

3) L. **Schiller**, *Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech.* ***3.*** *S. 2. 1923.*

4) **Jakob**, **Erk**.

5) F. **Singer**, *Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing.* ***67.*** *S. 584. 1923 und Zeitschr. f. angew. Chem.* ***36.*** *S. 290. 1923.*

6) **Jakob**.



möglichen, wurde der in Figur 8 wiedergegebene Einplattenapparat mit drei elektrischen Heizkörpern konstruiert und in der Reichsanstalt gebaut; das Kabelwerk Oberspree stellte die erforderlichen Metallstücke zur Verfügung.

Der Apparat besteht aus dem Hauptheizkörper *H*, dessen Wärme nach unten durch die kreisförmige Versuchsplatte *V* von 100 mm Durchmesser in den Kühlkörper *K* strömt, dem Ringheizkörper *R* und dem Heizdeckel *D*. Zwischen *R* und *K* liegen schlecht leitende Ringe von gleicher Gesamthöhe wie *V*. Das Ganze ist in eine Wärmeschutzmasse (z. B. Korkschrot) eingebettet, die auch den Raum zwischen *D* und *H* erfüllt. Die drei Heizkörper werden einzeln reguliert und im Dauerzustande sämtlich auf die gleiche Temperatur gebracht. Da dann die Wärmeleistung von *H* fast verlustlos durch die Versuchsplatte *V* geht, so erhält man die Wärmeleitfähigkeit aus dieser Leistung, dem Temperaturgefälle und den Abmessungen der Platte ohne weiteres.

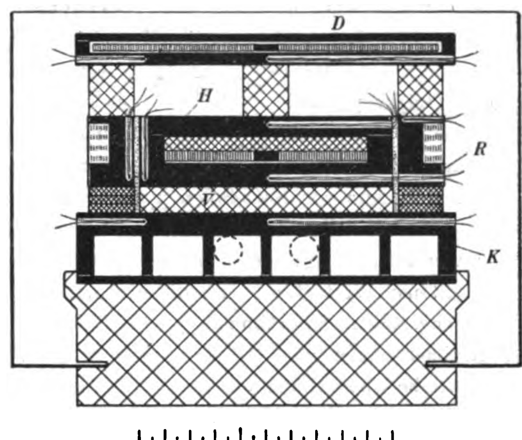


Fig. 8.

Die Heizkörper *H* und *D* haben verschraubte Messinggehäuse, der Ringkörper *R* ist aus einer Kupferschiene geschmiedet und gedreht. Sämtliche Gehäuse sind mit Konstantanbandwicklungen und Asbestisolation dicht ausgefüllt. Bei *H* ist durch eine besonders starke Lage Asbest über der Wicklung die Wärmeströmung nach oben unterdrückt,die ein radiales Temperaturgefälle in der Bodenplatte des Heizkörpers bewirken könnte. *K* ist ein Rotgußgefäß mit Messingdeckel und 5 Rippen, durch die die Kühlflüssigkeit (Wasser oder Öl) wiederholt umgelenkt wird. Zur Temperaturmessung dienen 16 Thermoelemente, von denen 10 in Figur 8 eingezeichnet sind. Mit ihnen können das Temperaturgefälle in der Versuchsplatte, die Temperatur des äußeren Randes von *H* und des inneren Randes von *R* in verschiedenen Höhen und die Temperaturen von *D* und *K* gemessen werden.

Da die Bohrungen für die Thermoelemente groß genug sind, um die Einlage feiner Porzellanröhrchen zu gestatten und weiche Lötungen an dem Apparat vermieden sind, kann damit die Wärmeleitfähigkeit von Platten auch bei höheren Temperaturen bestimmt werden.

89. Differenzdruckmesser [1]).

Bei den bisher ausgeführten Vorversuchen wurde der gleiche Druck auf beide Seiten des Stempels ausgeübt und die Differenzwirkung durch Auflegen von Gewichten hervorgerufen. Nach Einschleifen des Stempels ergab sich bei wiederholter Belastung eine Empfindlichkeit der Einstellung des Zeigers von weniger als $^1/_{100}$ Atm. Das Zusammenwirken der dem Differentialdruck entgegenwirkenden Feder und der Reibung des den Kolben dichtenden Öls hat jedoch zur Folge, daß die Einstellung sehr träge erfolgt. Es gelang zunächst nicht, die Einstellungszeit kleiner als zwei Minuten zu machen. Nunmehr wird der Stempel, der einen Härteriß aufweist, erneuert, die Zylinderbohrung neu eingeschliffen und die Ölzuleitung beiderseits des Stempels erweitert, um den Reibungseinfluß zu verringern,

90. Verdampfungswärme des Wassers bei höheren Drucken [1]).

Das früher für die Versuche bis 10 Atm. verwendete Verdampfungsgefäß aus Rotguß von 150 mm lichter Weite und 8,5 mm Wandstärke soll auch bei höheren Drucken benutzt werden. Es wurde daher die Befestigung des Deckels durch Verdoppelung der Schraubenzahl verstärkt. Ferner wurde untersucht, bei welchem Innendruck bleibende Formveränderungen auftraten. Hierzu wurde der äußere Durchmesser in mittlerer Höhe mit einer großen Mikrometerschraube bei einer bis 120 Atm. ausgedehnten Wasserdruckprobe fortlaufend gemessen. Zwei Messungen bei 70 Atm. ergaben eine Vergrößerung des äußeren Durchmessers um 0,077 mm, neun zum Teil bis $^3/_4$ Stunden Belastungsdauer ausgedehnte Messungen bei 100 Atm. eine solche um 0,112 $\pm$ 0,003 mm ohne die geringste dauernde Formänderung. Erst bei 120 Atm. war eine solche im Betrag von etwa 0,007 mm zu bemerken; um Überanstrengung des Materials zu vermeiden, wurde die Druckprobe damit ab-

[1]) Jakob.


Digitized by Google

gebrochen. Auch unter Berücksichtigung der Verringerung der Festigkeit bei höherer Temperatur kann darnach das Verdampfungsgefäß für wesentlich höhere Drucke als 10 Atm. unbedenklich verwendet werden.

An Stelle des Hahnes, mit dem früher die Dampfzufuhr zu jedem der beiden Kondensgefäße gesteuert wurde, ist jetzt ein Doppelventil konstruiert worden, zu dem das Kabelwerk Oberspree der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft ein geschmiedetes Bronzestück zur Verfügung gestellt hat, während die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg die Bearbeitung übernommen hat. Das Kabelwerk Oberspree steuerte ferner das Kupfergehäuse für den elektrischen Heizkörper bei.

91. Zähigkeitsmessungen [1]. In der Kältetechnik will man nach der Reynoldsschen Gleichung für Rohre den Druckverlust von Kühlanlagen und Kältemaschinen berechnen und muß dazu die Zähigkeit von Kälteträgern, besonders von NaCl-Solen kennen. Da hierfür in dem hauptsächlich in Frage kommenden Gebiet unter 0° keine Angaben in absolutem Maße vorliegen, wurde mit einem Kapillarviskosimeter von Grüneisen die Zähigkeit η wäßriger NaCl-Lösungen von $+25$ bis $-10°$ gemessen. Die erhaltenen Werte für η und die kinematische Zähigkeit $\nu = \eta/\gamma$ sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Sie stimmen oberhalb 0° für Wasser und für 10prozentige NaCl-Lösung mit den Beobachtungen von Hosking gut überein, zeigen aber für 20prozentige NaCl-Lösung eine systematische Abweichung bis zu $1^1/_2\%$, die sich nicht ganz erklären läßt, da Hosking über die Korrektionen für die kinetische Energie des ausfließenden Strahles und die Endwirbel keine vollständigen Angaben macht.

Zähigkeit von 10- und 20prozentigen NaCl-Lösungen

NaCl in 100 g Lösung = 10,017 g			= 19,95 g	
Temperatur	η	ν	η	ν
25°	$0{,}0107_1$	$0{,}0101_3$	$0{,}0138_8$	$0{,}0121_1$
20	$0{,}0119_1$	$0{,}0111_1$	$0{,}0156_0$	$0{,}0135_9$
18	124_8	116_4	163_2	142_1
16	130_7	121_8	171_4	149_0
14	136_9	127_5	180_1	156_5
12	144_1	134_1	189_4	164_4
10	$0{,}0151_7$	$0{,}0141_1$	$0{,}0199_7$	$0{,}0173_2$
8	160_0	148_8	210_7	182_6
6	169_2	157_2	222_9	193_1
4	179_4	166_6	236_2	204_4
2	190_4	176_7	251_0	217_1
0	$0{,}0201_9$	$0{,}0187_4$	$0{,}0267_5$	$0{,}0231_2$
— 2	215_3	199_7	285_0	246_2
— 4	229_4	212_6	304_0	262_5
— 6	244_9	226_9	325_1	280_5
— 6,7	250_9	232_5		
— 8			348_9	300_8
— 10			377_4	325_1

Schneider [2]) hat zwischen $-15°$ und $+45°$ die Zähigkeit von Wasser und NaCl-Lösungen in Engler-Graden gemessen. Seine Versuchswerte für Wasser zwischen 0 und 20° wurden mit dem Engler-Apparat nachgeprüft und für richtig befunden. Nach einer durch v. Mises theoretisch abgeleiteten Formel über den Zusammenhang zwischen Engler-Graden und kinematischer Zähigkeit sollten Schneiders Werte mit denen der obigen Tabelle verglichen werden. Es zeigte sich jedoch, daß die Formel in dem untersuchten Bereich von $0{,}01 < \nu < 0{,}04\ \mathrm{cm^2\,s^{-1}}$ versagt.

Es ist beabsichtigt, auf experimentellem Wege eine Beziehung zwischen der Zähigkeit in absolutem Maß und in Engler-Graden abzuleiten. Zu diesem Zwecke soll ein Viskosimeter nach

[1]) Erk. [2]) Schneider, *Forschungsarbeiten Nr. 213. 1919.*

Digitized by Google

Couette dienen, wobei die Bedingungen für ähnlichen Strömungsverlauf an den Enden der Kapillaren besonders berücksichtigt werden. Die erforderlichen Kapillaren sind bereits kalibriert.

Mit diesem Viskosimeter wird auch den Bedürfnissen der Ölindustrie Rechnung getragen, der es auf die Untersuchung zähflüssiger Öle und die Prüfung technischer Zähigkeitsmesser in absolutem Maß ankommt.

92. Berechnung der spezifischen Wärme der Luft zwischen 0 und 200 Atm. und — 80 bis 250°.[1]

Den Ausgangspunkt für die Untersuchung bildete die Frage, ob es möglich ist, aus den von Holborn und Schultze ausgeführten Messungen von Isothermen der Luft deren spezifische Wärme mit einiger Genauigkeit zu berechnen. Die sich über den Bereich von 0 bis 200° und von 0 bis 100 Atm erstreckenden Meßergebnisse wurden daher zunächst durch eine empirische Gleichung auf etwa 0,2‰ genau dargestellt. Nach den thermodynamischen Gleichungen

$$c_p = c_p' - \frac{T}{J}\int_{p=1}^{p} \frac{\partial^2 v}{\partial T^2}\, dp \tag{1}$$

und

$$c_p - c_v = -\frac{T}{J}\frac{\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)^2}{\frac{\partial v}{\partial p}} \tag{2}$$

konnten dann c_p, $c_p - c_v$ und hieraus c_v und c_p/c_v berechnet werden, da die spezifische Wärme c_p' für Atmosphärendruck bekannt ist.

Zur Kontrolle der Ergebnisse dienten die von Holborn und Jakob ausgeführten Messungen von c_p bei hohen Drucken, ferner die Versuche Bradley und Hales sowie Noells über den Thomson-Joule-Effekt, Jakobs Zustandsgleichung und Kochs Bestimmung von c_p/c_v. Die nach Holborn und Schultzes Isothermen berechneten Werte von c_p stimmen zwischen 0 und 150° und 0 bis 200 Atm., also noch weit über den Versuchsdruck hinaus mit den wahrscheinlichsten auf andere Weise bestimmten Werten überein. Unterhalb 0° und von 200° aufwärts führt die empirische Ausgangsgleichung zu starken systematischen Abweichungen, die sich aus der nach Gl. (1) erforderlichen zweimaligen Differentiation erklären.

Aus der Gesamtheit der oben genannten Untersuchungen lassen sich aber von — 80° bis + 250° in sich befriedigend übereinstimmende Werte von c_p, $c_p - c_v$, und c_v und c_p/c_v gewinnen.

Während die Isobaren der spezifischen Wärme für Dämpfe bei abnehmender Temperatur fächerartig auseinander streben, nähern sich die Isobaren der Luft nach der vorliegenden Untersuchung einander, ja sie schneiden sich. Dasselbe hat Fischer[2]) bei der Berechnung der spezifischen Wärme der Kohlensäure aus einem Mollierschen i, s-Diagramm gefunden. Auch die van der Waalssche Zustandsgleichung führt, worauf Schüle in seiner „Technischen Thermodynamik" zuerst aufmerksam gemacht zu haben scheint, qualitativ zu der gleichen Form der Isobarensysteme.

Die Untersuchung ist veröffentlicht (s. Anh. 1, Nr. 74).

93. Wasserstoffverflüssigung.[3]

Die vergrößerte Wasserstoffverflüssigungsanlage wurde fertiggestellt und ausgeprobt. Dabei erwiesen sich zahlreiche Abänderungen als erforderlich: An dem Gegenströmer, dessen oberster Teil schon früher erneuert worden war, mußten verschiedene andere Teile wegen allmählich auftretender Undichtigkeiten, besonders an den Lötungen, durch neue ersetzt werden. So weit als irgend durchführbar war, sind nunmehr für die Verbindungen Hartlötungen mit Silber verwendet. Die Sicherheitsventile in der Niederdruckleitung, die nicht dauernd dicht hielten und daher Gasverluste verursachten, wurden umgeändert und durch vorgeschaltete Filter vor Staubteilchen geschützt.

Besondere Schwierigkeiten bereitete der zur Wasserstoffkompression verwendete vierstufige Schützsche Kompressor von 25 cbm Ansaugleistung in der Stunde. Nach gründlichem Reinigen des Kompressors wurde eine Zeitlang das einwandfreie Arbeiten der Saug- und Druckventile der Zylinder erreicht. Indessen versagten die Ventile nach einiger Zeit wieder, offenbar weil es nicht gelungen war, aus den eisernen Kühlschlangen, den inneren Räumen der Absperrventile usw. alle Rost- und Eisenteilchen zu beseitigen. Abhilfe wurde nach nochmaliger Reinigung durch Einfügen von röhrenförmigen Drahtfiltern versucht, deren Maschen jedoch trotz des bei Röhrenform großen Durchtrittsquerschnitts für die Strömung nicht sehr eng gemacht werden konnten, da die Filter

[1]) Jakob. [2]) V. Fischer, *Zeitschr. f. d. ges. Kälteindustrie 1921, Heft 12.* [3]) Meißner.

Digitized by Google

andernfalls wegen des dicken Zylinderöls einen zu starken Strömungswiderstand boten oder zerrissen. Ob nunmehr ein einwandfreies Arbeiten des Kompressors auf die Dauer erreicht ist, bleibt abzuwarten. Wünschenswert wäre es, ihn durch eine eisenfreie Maschine zu ersetzen, um so mehr als er auch noch in anderer Hinsicht große Schwierigkeiten bietet; z. B. halten die Manschettendichtungen der Kolben nicht einwandfrei dicht, so daß besondere Hochdruckstopfbuchsen eingebaut werden mußten.

Die Hauptschwierigkeit bei der Wasserstoffverflüssigung besteht bekanntlich darin, daß der zu verwendende Wasserstoff noch etwa 0,3 bis 0,4 Proz. Stickstoff enthält, durch den das Expansionsventil verstopft wird, sobald die Temperatur unter den Erstarrungspunkt des Stickstoffs sinkt. Diese Schwierigkeit, die sich wider Erwarten bei dem großen Apparat noch stärker als beim kleinen Nernstschen Apparat zeigte, wurde in folgender Weise überwunden: Es wurde in die Hochdruckleitung, dicht vor dem Entspannungsventil V (Fig. 9) ein Abscheidegefäß G eingefügt, von dessen unterem Ende eine Abblasleitung A direkt ins Freie führt. Die Hochdruckleitung H tritt in das Gefäß G etwa in $^2/_3$ Höhe desselben **tangential** ein, damit der feste Stickstoff an der Wandung von G bleibt und sich allmählich im unteren Teile von G ansammelt, während der Wasserstoff durch das Ventil V entweicht. Der feste Stickstoff wird durch die Abblasleitung A, die außen in ein Absperrventil endigt, öfter ausgeblasen. Dieses Verfahren war so gut wirksam, daß eine Spule, die zur elektrischen Heizung und zum Auftauen um das Ventil V gelegt war, bisher nicht benutzt zu werden brauchte.

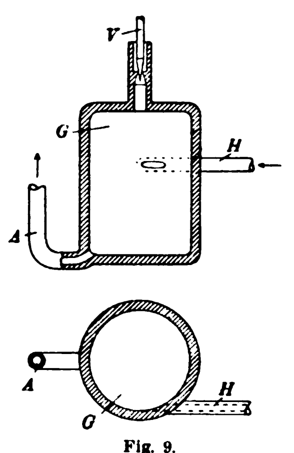


Fig. 9.

Das Vakuummantelgefäß, in dem sich der flüssige Wasserstoff ansammelt, wurde in der Reichsanstalt aus Metall gefertigt, um sein Springen auszuschließen, das zu Unglücksfällen führen kann. Das Metallgefäß hat sich gut bewährt.

Das Vakuummantelgefäß für die zur Vorkühlung verwendete flüssige Luft von etwa 250 mm Innendurchmesser war zunächst aus Glas. Da aber diese großen Glasgefäße sehr leicht am oberen Rand einspringen und die Lieferzeiten für sie mehrere Monate betrugen, wurde auch das Gefäß für flüssige Luft in der Reichsanstalt aus Metall angefertigt. Die innere Wandung besteht aus Neusilberblech von 0,1 mm Stärke. In diesem Gefäß verdampft etwa 1,5 mal soviel flüssige Luft, wie in den gleich großen versilberten gläsernen Gefäßen, was für den vorliegenden Zweck völlig ausreicht.

Die Wasserstoffverflüssigungsanlage hat bei den letzten Versuchen einwandfrei gearbeitet. Es wurden jedesmal mehr als 5 Liter flüssigen Wasserstoffs hergestellt, der zu Messungen mit einem großen Gasthermometer und zu Versuchen über die elektrische Leitfähigkeit und Wärmeausdehnung von Metallkristallen verwendet wurde.

Um ein Urteil über die Leistung der Anlage im Verhältnis zu dem, was theoretisch erreichbar ist, zu erhalten, wurde der Einfluß von Anfangsdruck und Vorkühltemperatur und die verflüssigte Menge theoretisch abgeleitet und an Hand der erhaltenen Formeln mit Hilfe der im Leidener Laboratorium bestimmten Isothermen zahlenmäßig ermittelt, wobei allerdings hinsichtlich des Druckes eine Extrapolation von 60 auf 160 Atm. erforderlich war. Da indessen die hierbei für Wasserstoff erhaltene Inversionskurve des differentialen Joule-Thomson-Effektes gut mit der früher von Jakob für eine größere Zahl von Stoffen erhaltenen mittleren reduzierten Kurve übereinstimmt, dürften auch die anderen numerischen Resultate im wesentlichen brauchbar sein. Es ergab sich, daß bei einer Vorkühltemperatur von 80° abs. (flüssige Luft unter normalem Druck) der günstigste Anfangsdruck 165 Atm. ist, und daß dabei 0,177 der durchströmenden Menge verflüssigt werden kann. Bei 66,4° abs. (flüssige Luft unter stark vermindertem Druck) ist der günstigste Druck 161 Atm. und der verflüssigte Bruchteil 0,266. Diese Untersuchung ist veröffentlicht (s. Anh. 1, Nr. 32).

Der bisher mit der neuen Anlage praktisch verflüssigte Bruchteil der Ansaugmenge liegt erheblich unter dem nach Vorstehendem Erreichbaren. Wahrscheinlich liegt eine Verlustquelle


Digitized by Google

darin, daß ein Teil des verflüssigten Wasserstoffs mit dem Gasstrom in den Gegenströmer gerissen wird. Abänderungeu zur Beseitigung dieses Mangels sind in Vorbereitung.

94 Heliumverflüssigung.[1]

Die Aufstellung der Gasometer und des Gegenströmers und ihre Verbindung mit dem Heliumkompressor ist im Gange. Zur Gewinnung der für die Heliumverflüssigung erforderlichen Menge Heliums von mehreren Kubikmetern ist die Trennung des Neon-Heliumgemisches erforderlich, das von der Linde-A.-G. zur Verfügung gestellt wird. Zu dieser Trennung ist in dem Wasserstoffverflüssiger ein Kondensationsgefäß G eingebaut (Fig. 10), das durch eine Rohrleitung R_1 mit 2 Stahlflaschen F_1 und F_2 in Verbindung steht. F_1 enthält das zu trennende Neon-Heliumgemisch, F_2 dient zur Aufnahme des reinen Neons. Nachdem G und F_2 unter Benutzung des Ventils V_1 evakuiert sind, wird F_2 geschlossen, F_1 geöffnet (Druck 30 Atm.) und G, das sich in dem Gefäß für flüssigen Wasserstoff befindet, durch geeignete Regelung des Wasserstoffkreislaufs bis zur Verflüssigungstemperatur des Neons abgekühlt. Dieses Gas kondensiert in G, was an dem Manometer M verfolgt werden kann. Nach genügender Kondensation wird F_1 geschlossen, G bis auf 20° abs. abgekühlt, so daß das Neon erstarrt, und das Helium über V_1 in ein Gasometer gepumpt. Erwärmt man nunmehr G und öffnet F_2, so tritt das reine Neon aus G in F_2 über. Falls G klein gegen F_2 ist, bleibt nur ein kleiner Teil in G. Derselbe kann durch die Rohrleitung R_2 mit dem Ventil V_2 abgelassen werden. Durch R_2 kann außerdem etwa zu Beginn des Trennungsprozesses kondensierender Stickstoff entfernt werden. Die Helium Neon-Trennung nach diesem Verfahren ist soweit vorbereitet, daß sie demnächst begonnen werden kann.

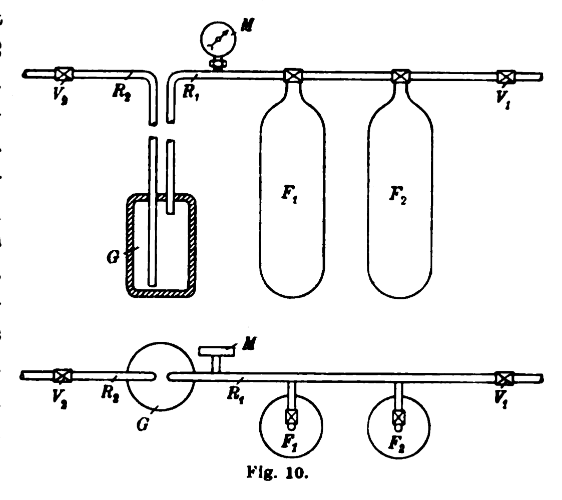


Fig. 10.

Unterabteilung III b.

95. Übersicht über die Prüfungen[2].

Im Jahre 1923 wurden folgende Gegenstände geprüft:

I. Ausdehnungsthermometer.

1562 (2111) feine Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,01°, geprüft in Temperaturen bis 100°, hiervon 306 (521) Kalorimeterthermometer,
3909 (3068) Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,1°, geprüft in Temperaturen bis 100°,
74 (43) Siedethermometer für Höhenmessungen,
283 (139) Beckmannsche Thermometer,
94 (75) Tiefseethermometer,
4110 (3448) hochgradige Thermometer, z. T. geprüft in Temperaturen bis 750°,
267 (78) tiefgradige Thermometer, darunter 132 (46) Pentanthermometer für Temperaturen bis — 190°,

zusammen 10299 (8962) Thermometer.

Ferner:

407576 (521196) Fieberthermometer.

[1]) Meißner.

[2]) Scheel, Grützmacher, Jakob, Hoffmann, Moeller, Disch, Ebert, Blankenstein, Erk.

Digitized by Google

II. Elektrische und optische Thermometer.

4 (14) Widerstandsthermometer,
107 (269) Thermoelemente, darunter 87 (170) aus Platin-Platinrhodium, 8 (30) Konstantan-Silber, 7 (6) Konstantan-Kupfer, 3 (40) Konstantan-Eisen, 1 (17) Nickel-Chromnickel, 1 (0) Nickel-Manganin,
4 (11) Millivoltmeter für thermoelektrische Zwecke,
6 (5) Wannersche Pyrometer, davon 3 (3) mit je einem Rauchglas und 2 (0) mit je 2 Meßbereichen,
43 (9) Pyrometerlampen, davon 36 (6) Metallfaden- und 7 (3) Kohlefadenlampen, } für das Holborn-Kurlbaumsche Pyrometer,
9 (12) Rauchgläser, } für das Holborn-Kurlbaumsche Pyrometer,
2 (3) Strommesser, } für das Holborn-Kurlbaumsche Pyrometer,
1 (0) Wolframbandlampe,
1 (0) Gesamtstrahlungspyrometer,
2 (0) gasgefüllte (Halbwatt)Lampen,

zusammen 179 (328) Apparate.

III. Instrumente für Druckmessung.

77 (39) Quecksilberbarometer,
13 (5) Aneroidbarometer,
1 (0) Barograph,
31 (41) Manometer für verschiedene Meßbereiche, darunter 4 (1) bis 1000 kg/cm², 1 Quecksilbermanometer und 1 Quecksilbervakuummeter,
48 (75) Tiefseethermometer, darunter 42 mit geschlossenem, 6 mit offenem Rohr auf Drucke bis zu 600 kg/cm²,

zusammen 170 (161) Druckmeßinstrumente.

IV. Apparate zur Untersuchung des Erdöls.

103 (66) Petroleumprober, darunter 23 (2) mit Ersatzthermometern und 3 (4) für höhere Temperaturen,
21 (10) Flammpunktprüfer,
258 (634) Zähigkeitsmesser, darunter 119 (373) nach Ubbelohde, 12 (12) für höhere Temperaturen, 14 (57) mit Zehntelgefäß, sowie 2 (2) vierfache und 2 (2) zweifache,
15 (8) Siedeapparate für Mineralöle,

zusammen 397 (718) Apparate für Erdöle.

V. Sonstiges.

11 (30) Proben auf spezifische Wärme,
12 (25) Verbrennungskalorimeter (Bestimmung des Wasserwertes auf elektrischem Wege),
1 (0) Kalorifer,
3 (6) Gaskocher,
12 (15) Stoffe auf Ausdehnung,
18 (16) Bestimmungen der Wärmeleitfähigkeit, darunter von 17 (16) keramischen Massen und 1 Aluminiumlegierung,
2 (8) Posten = 79 (430) Legierungsringe für Schwartzkopffsche Dampfkessel-Sicherheitsapparate,
1 (0) Posten = 3 Schmelzpfropfen,
2 (1) Bestimmungen der Zähigkeit und des spezifischen Gewichts von Ölen,
1 (0) automatisches Glasventil auf Durchlässigkeit,

zusammen 63 (402) Gegenstände.


Digitized by Google

Die Prüfungstätigkeit hat gegenüber dem Vorjahre bei den nichtärztlichen Thermometern noch weiter zugenommen und zwar um etwa 15%, dabei verursachten hauptsächlich die Beckmannschen und die Anschützschen Thermometer einen erheblichen Arbeitsaufwand.

96. Quecksilberthermometer.
a) Allgemeines.

Von den 10299 nichtärztlichen Thermometern entsprachen 1313 (639) nicht den Prüfungsvorschriften, 47 (80) gingen beschädigt ein, 106 (184) — einschließlich 64 (132) Stück freiwillig gesprungener Instrumente — wurden bei der Prüfung beschädigt; im ganzen mußten demnach 1466 (953) Thermometer, d. h. 14% (10,6%) aller eingereichten nichtärztlichen Thermometer als unzulässig zurückgewiesen werden.

b) Arbeitsnormale[1]).

An Arbeitsnormalthermometern sind 4 Kalorimeter-, 2 Siedethermometer, deren Angaben sich mit der Zeit verändert hatten, und 2 Beckmannsche Thermometer durch Gradwertbestimmungen und Kalibrierung neu bestimmt worden. Ebenso wurden 5 Hauptnormale, die im Jahre 1902, bzw. 1909 zuletzt untersucht waren, von neuem kontrolliert. Die Abweichungen lagen innerhalb der Beobachtungsfehler. Die seit einiger Zeit besonders bei Fieberthermometer-Normalen beobachtete Erscheinung, daß die Angaben der Instrumente im Laufe der Zeit nicht ansteigen, sondern sogar abfallen, ist auch an Thermometern aus dem älteren Glasvorrat der Reichsanstalt bestätigt worden. Dieser Erscheinung ist in zahlreichen Kontrollprüfungen und Untersuchungen nachgegangen, die jedoch noch keine Erklärung geliefert haben und deshalb weiter fortgesetzt werden sollen.

Die Vergleichung der Arbeitsnormale für höhere Temperaturen mit dem Platinthermometer ist an 13 älteren und 8 neuen Instrumenten durchgeführt worden.

In dem großen Salpeterbad für hohe Temperaturen, das bisher nur eine äußere Heizspule hatte, ist zum schnelleren Anheizen und besseren Regulieren noch eine innere elektrische Heizvorrichtung angebracht worden. Neu gebaut wurde ein kleiner Thermostat für höhere Temperaturen, der besonders zum Prüfen der kleinen Satzthermometer dienen soll. Er besteht aus einem massiven Aluminium-Zylinder, in den etwa 11 cm tiefe enge Löcher für die Aufnahme der zu prüfenden Thermometer gebohrt sind. Durch eine auf dem Zylinder angebrachte elektrische Heizspule wird der ganze Körper auf passender Temperatur konstant gehalten.

c) Fieberthermometer[2]).

Die unmittelbar von den Erzeugern eingelieferten Fieberthermometer waren während des größten Teiles des Jahres zahlreicher als im Vorjahr. Ein großer Bruchteil davon mußte nach den, gegenüber den deutschen wesentlich schärferen Bestimmungen ausländischer Staaten geprüft werden. Von der gesetzlich vorgeschriebenen Überweisung von Fieberthermometern an die Reichsanstalt seitens des thüringischen und des anhaltischen Staatsprüfamts brauchte deshalb in der ersten Jahreshälfte weniger Gebrauch gemacht zu werden. Als es später geschehen sollte, waren die Ämter dazu nicht imstande, weil die Prüfungsaufträge ganz gering geworden waren.

Unter den zur Prüfung eingereichten 407576 Fieberthermometern waren 464 gewöhnliche, 48604 Maxima- und 358508 Minuten Maxima Thermometer; ferner waren von den eingereichten Thermometern 256878 Einschluß- und 1 0698 Stabthermometer. Hiervon waren zulässig und wurden mit Stempel versehen 356513, ohne Stempel blieben 6142 Stück; unzulässig waren im ersten Falle 10,8 und im zweiten 19,8%.

Der hohe Ausfall (10,8%) bei den zur Stempelung eingereichten Thermometern erklärt sich dadurch, daß einerseits unter ihnen 42678 Stück auf Antrag schärfer geprüft werden mußten und dabei 33% Ausschuß ergaben, andererseits daß 18720 Stück von Händlern aufgekaufte minderwertige Restbestände einen Ausschuß von nicht weniger als 40% lieferten. Die übrigen 338523 Thermometer ergaben dann einen Ausfall von 6,4%. Ähnlich lagen die Verhältnisse bei den Thermometern, die nicht gestempelt werden sollten. Unter ihnen waren 2909 Stück Restbestände mit 1402 = 48% unzulässigen Instrumenten. Der Rest von 4751 Stück wies einen Ausfall von 2,4% auf.

Die bisher angewandte Prüfungsmethode für Fieberthermometer besteht darin, daß die Instrumente zur Ermittlung der Standkorrektion bei langsam ansteigenden Temperaturen im erwärmten Wasserbade im Hin- und Hergang mit Normalthermometern verglichen werden und daß hernach durch eine nochmalige Ablesung in Zimmertemperatur festgestellt wird, ob und wieviel

[1]) Scheel, Grützmacher, Moeller. [2]) Scheel, Ebert.


Digitized by Google

der Faden infolge eines Mangels der Maximumvorrichtung zurückzieht. Das thüringische Staatsprüfamt hatte vorgeschlagen, den doppelten Prüfgang in einen zusammenzuziehen. Die Thermometer sollten längere Zeit im Wasserbade auf genau konstanter Temperatur gehalten und dann nur einmal in Luft abgelesen werden. Eingehende Vergleichungen beider Verfahren, die in der Reichsanstalt angestellt wurden, haben gezeigt, daß die vorgeschlagene Methode die Eigenschaften des Thermometers weniger im einzelnen darlegt, daß sie besonders die Mängel der Maximumvorrichtung, welche eine wesentliche Fehlerquelle der Fieberthermometer bildet, nicht genügend erkennen läßt. Von der Einführung der vorgeschlagenen Methode mußte deshalb abgesehen werden.

97. Thermometerprüfungsanstalten unter Aufsicht der Reichsanstalt[1]).

Beim Staatsprüfamt in Ilmenau wurden zur Prüfung eingereicht 1231 (davon zulässig 1076) Laboratoriumsthermometer bis 100°; 1129 (587) Laboratoriumsthermometer bis 550°, 6882 (4729) meteorologische; 918 (645) gewerbliche Thermometer und 759 (663) Thermometer für den häuslichen Gebrauch; insgesamt 10919 (7700) Instrumente. Zur künstlichen Alterung wurden 1639 Thermometer eingereicht.

Die Tätigkeit der drei Ämter — Ilmenau, Gehlberg und Zerbst — in bezug auf die Prüfung von Fieberthermometern ist aus der nachstehenden Tabelle zu ersehen, in welcher auch die entsprechenden Zahlen für die Reichsanstalt aufgeführt sind.

		Physik.-Techn. Reichsanstalt	Staatsanstalten in			Summe
			Ilmenau	Gehlberg	Zerbst	
Eingelieferte Fieberthermometer	gewöhnliche	464	1 641	8 420	—	10 525
	Maximum	48 604	289 672	382 379	5 040	725 695
	Minuten-Maximum	358 508	2 213 751	1 210 039	706 056	4 515 354
	Einschlußthermometer zugeschmolzen	253 946	1 726 469	1 022 145	699 607	3 702 167
	Einschlußthermometer zugesiegelt	2 932	—	—	—	2 932
	Stabthermometer	150 698	778 595	578 693	11 489	1 519 475
insgesamt		407 576	2 505 064	1 600 838	711 096	5 224 574
davon zulässig	mit Stempel	356 513	2 235 915	1 210 541	654 827	4 457 796
	ohne Stempel	6 142	130 822	318 946	22 299	478 209
davon unzulässig (Prozent)		11	5,5	4,4	4,8	5,3

98. Hochvakuummessungen[2]).

Die Hochvakuumuntersuchungen wurden fortgesetzt. Das Rieggersche Manometer, das, wie im vorigen Jahre bereits gezeigt, von den auf gaskinetischer Grundlage gebauten Instrumenten die größte Aussicht auf Erweiterung des Meßbereichs bot, wurde mit einem zweiten Flügelrade und einer Ablesevorrichtung mittels Fernrohr und Skale versehen. Es sind damit Messungen bis 10^{-7} mm Hg durchgeführt.

Die Versuche, hohe Vakua mit Hilfe des Ionenstromes in Elektronenröhren zu messen, bereiteten Schwierigkeiten, die noch nicht ganz überwunden sind. Es gelingt wohl durch Extrapolation an einer Röhre während des Auspumpens einen Druck von etwa 10^{-8} mm Hg zu schätzen, doch ist es bisher nicht möglich gewesen, eine einmal aufgenommene Eichkurve wiederzufinden. Die Abweichungen waren ganz unregelmäßig und wurden zunächst dem Einfluß des Sauerstoffs auf den Wolframdraht zugeschrieben. Aber auch bei Beobachtungen mit einem Helium-Neon-Gemisch waren die Kurven noch nicht eindeutig reproduzierbar.

Des weiteren sind die Versuche über die Sauggeschwindigkeit von Hochvakuumpumpen durch Hinzunahme neuer Modelle vervollständigt: des Volmer-Aggregates und einer neuen Kondensationspumpe, halb aus Glas, halb aus Quarz — beide von der Firma Hanff & Buest in Berlin —, der Kondensationspumpen der Firma Date in Hamburg und der Präzisionsphysik Gesellschaft m. b. H. in Berlin, und endlich der Diffusionspumpe aus Stahl von Gaede, die von der Firma E. Leybolds Nachf. in Köln gebaut wird. Diese Resultate sind veröffentlicht (s. Anh. 1, Nr. 68).

99. Spezifisches Gewicht des Quecksilbers[3]).

Infolge der Entdeckung der Isotope hat das spezifische Gewicht des Quecksilbers, namentlich für die Definition der Widerstandseinheit an Bedeutung gewonnen. Die vorliegenden Werte

[1]) Scheel. [2]) Ebert. [3]) Scheel, Blankenstein.


Digitized by Google

sind nur spärlich und nicht sicher genug. Die an der Reichsanstalt im Jahre 1898 von Thiesen und Scheel begonnene Untersuchung ist nicht zu Ende geführt und wurde nun fortgesetzt.

Eine Masse von 1 kg Quecksilber, die sich in einem offenen Porzellantiegel befindet, wird unter Wasser gewogen. Volumen und Masse des Tiegels, die in das unmittelbare Wägungsresultat eingehen, müssen gesondert ermittelt werden. Die Wägungen sollen bei 10, 20, 30, 40° ausgeführt werden. Die bisher an einer Probe reinen destillierten Quecksilbers bei 20 und 30° gewonnenen Resultate bestätigen innerhalb weniger Einheiten der 4. Dezimale die nach den früheren Messungen in den Wärmetabellen mitgeteilten Werte des spezifischen Gewichts des Quecksilbers.

100. Gesamthelligkeit des Schwarzen Körpers[1]).

Nachdem in den letzten Jahren an den vorhandenen Schwarzen Körpern durch Photometrieren im monochromatischen Licht die relative Helligkeit beim Gold-, Palladium- und Platinschmelzpunkt bestimmt war, ist nunmehr damit begonnen worden, an denselben Strahlungsquellen die absolute Gesamthelligkeit bei den nämlichen Fixpunkten zu bestimmen. War bei den früheren Untersuchungen das Hauptziel, die Temperaturskale in der Weise festzulegen, daß unter Zugrundelegung des Goldschmelzpunktes (1063°) die anderen Schmelzpunkte aus den gemessenen Helligkeitsverhältnissen mit Hilfe des Wien-Planckschen Strahlungsgesetzes berechnet wurden, so soll jetzt umgekehrt die Gesamthelligkeit in Abhängigkeit von der als gegeben angesehenen Temperatur der Schmelzpunkte bestimmt werden. Dabei wurde besonderes Gewicht darauf gelegt, festzustellen, ob für die Helligkeit des Schwarzen Körpers beim Platin-Schmelzpunkt so übereinstimmende Werte erhalten werden können, daß sich eine Lichteinheit darauf gründen läßt.

Als Strahlungsquellen dienen außer den mit Platinfolie versehenen Schwarzen Körpern nach Lummer-Kurlbaum in der ursprünglichen bis 1400° und in der abgeänderten bis 1600° brauchbaren Form für höhere Temperaturen Hohlraumstrahler, die in einen von Herrn Nernst zur Verfügung gestellten Platiniridiumofen und in den Iridiumofen eingebaut waren. Der Iridiumofen, dessen Rohr bei den letzten Messungen des Platin-Schmelzpunktes schadhaft geworden war, mußte vollkommen neu hergestellt werden. Dabei wurde ein neues, mit Rücksicht auf die hohen Kosten wesentlich engeres Iridiumrohr (von 25 mm statt bisher 40 mm lichter Weite) eingesetzt, dem der aus Magnesia bestehende Einbau angepaßt werden mußte, und es wurde auf Empfehlung von W. C. Heraeus-Hanau statt der bisher benutzten Thermoelemente aus IrRu-Ir (J und K) ein solches aus IrRh-Ir (L) eingebaut und ein zweites gleiches Element (M) für die Schmelzpunktbeobachtungen nach der Drahtmethode bereit gehalten. Leider zeigte sich, daß die Thermokraft der IrRh-Ir-Elemente wesentlich kleiner ist als die ohnehin nicht sehr große Thermokraft der IrRu-Ir-Elemente, und daß die beiden Elemente gleicher Herstellung (L und M) auch voneinander stark abweichen. So ergaben sich beim Platinschmelzpunkt für die Thermokraft E der Thermoelemente

J	aus IrRu-Ir	$E = 4020\ \mu$V
K	„ „	$= 4130$ „
L	„ IrRh-Ir	$= 2849$ „
M	„ „	$= 3738$ „

Da das in den Iridiumofen eingebaute Element L beim Platinschmelzpunkt einen Temperaturgradienten $e = dE/dt$ von nur 1,5 μV/Grad hat, so ist die an die Meßanordnung zu stellende Anforderung recht hoch. Trotzdem gelang es, den Platinschmelzpunkt mit Hilfe eines zweiten von vorn eingeführten Thermoelements, zwischen dessen Schenkeln der Platindraht durchschmolz, in bekannter Weise thermoelektrisch befriedigend festzulegen. Als Schmelzelement diente außer den genannten Ir-Elementen ein neues Thermoelement aus PtRh (10%)-PtRh (40%), das sich recht gut bewährte und, wie es scheint, den Ir-haltigen Elementen gegenüber den Vorzug verdient, weil gewisse Störungen, die bei jenen kurz vor dem Durchschmelzen des Platins auftreten, bei ihm nicht mehr zu beobachten waren.

Die optischen Messungen wurden mit einem Universalphotometer (mit festem Sektor und rotierenden Prismen) ausgeführt, dessen Konstante im photometrischen Laboratorium sorgfältig in kurzen Zeitabständen auf die Hefnerlampe bezogen wurde. Die Mehrzahl der Messungen wurde in der Weise ausgeführt, daß vor dem Schwarzen Körper eine Blende mit gemessener kreisförmiger

[1]) Brodhun, Hoffmann.


Digitized by Google

Öffnung (von etwa 4 bis 5,5 mm Durchmesser) angebracht wurde, die in dem Licht des Schwarzen Körpers auf den Photometerschirm strahlte. Der für die Lichtstrahlung in Betracht kommende Teil der Hinterwand des Schwarzen Körpers ist dann etwas größer als die Blendenöffnung. Bei anderen Messungsreihen wurde hinter der Blende eine Linse angebracht, die auf den Photometerschirm ein Bild des Hintergrundes des Schwarzen Körpers wirft. Bei dieser Methode kommt ein viel kleinerer Teil der Hinterwand des Schwarzen Körpers in Betracht (von etwa 1 mm Durchmesser). Man muß dann aber den Lichtverlust durch die Linse in Rechnung setzen.

Der strahlende Teil des Schwarzen Körpers wurde in mannigfacher Weise verändert. Dabei ergab sich z. B., daß die Lichtstärkenwerte beim Platinschmelzpunkt sowohl mit Hohlräumen aus weißer als auch aus geschwärzter Magnesia befriedigend übereinstimmten. Eine Untersuchung der Helligkeit verschiedener Teile der Hinterwand zeigte, daß bei allen benutzten Strahlern die mittleren Teile etwas anders strahlten als die Randzonen. Eine größere Anzahl Messungen ist bisher nur beim Platinschmelzpunkt ausgeführt worden. Die Ergebnisse befriedigen noch nicht. Die Abweichungen der einzelnen Lichtstärkenwerte sind größer, als daß sie durch die geringen Abweichungen der Thermokräfte beim Durchschmelzen des Platindrahtes erklärt werden könnten. Die gegenwärtigen Versuche beziehen sich auf Verbesserung des Hohlraumes für den vorliegenden Zweck.

101. Gesamtstrahlungs-Pyrometer[1]) Für die Prüfung der Gesamtstrahlungs-Pyrometer (Ardometer von Siemens & Halske, Strahlungspyrometer von P. Braun u. a.) wurde eine Strahlungsquelle benötigt, die eine wesentlich größere Öffnung hat, als die gebräuchlichen Schwarzen Körper. Es wurde deshalb ein Kohlerohrofen gebaut, dessen Rohr eine lichte Weite von 40 mm hat. Vor Oxydation ist das Rohr außen durch Kohlegrießschüttung, innen durch Stickstoffspülung geschützt; eine besondere Vorrichtung mußte den Zutritt des Sauerstoffs von der vorderen Öffnung zum glühenden Rohr verhindern. Zur Konstanterhaltung der Temperatur während der Messungen diente ein Zeißsches Thermoelement, auf dessen Lötstelle die von der Rückseite des anvisierten Kohlepfropfens kommende Strahlung mit einer Flußspatlinse projiziert wurde.

Abteilung IV.

Unterabteilung IVa.

102. Bestimmung der Konstanten σ[2]). Im Berichtsjahre wurden zunächst σ-Bestimmungen mit einem nach Paschen-Gerlach eingebauten, seitlich durch Silberblenden begrenzten, 2 μ starken Empfängerstreifen aus gleichmäßig dicker elektrolytischer Platinfolie nach der bereits beschriebenen Modifikation der Kurlbaumschen Methode (Kompensation der Strahlungserwärmung durch Stromabschwächung) vorgenommen. Die Längenbegrenzung des Empfängerstreifens erfolgte hierbei statt durch Anlöten, bei dem eine zugleich sichere und präzise Kontaktgrenze schwer erzielbar ist, durch rückseitige elektrolytische Kupferverstärkung der Streifenenden, indem die noch unabgeätzte Platinkupferfolie, auf die gewünschte Länge durch eine Glasplatte mit genauen Querflächen abgedeckt, in ein Verkupferungsbad gebracht wurde. Man gewinnt auf diese Weise, zumal bei Benutzung der später erwähnten Folien mit nur 5 μ starken elektrolytischen Kupferdeckschichten, sehr genaue und zuverlässige Foliengrenzen. Die Versuche ergaben als Mittel bei Annahme einer Schwärzungskorrektion von 2% für σ den Wert $5{,}7_2 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2 \cdot \text{Grad}^4}$, in befriedigender Übereinstimmung mit den von Gerlach, Coblentz, Hoffmann gefundenen Werten.

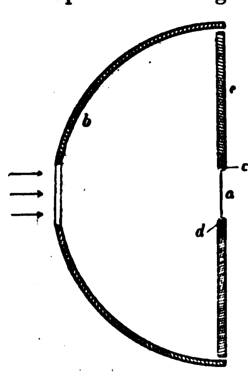


Fig. 11.

Für die weiteren Versuche wurde im Hinblick auf die Schwierigkeit, die wichtige und erhebliche Schwärzungskorrektion nachträglich genügend genau zu ermitteln, in Fortsetzung früherer Vorarbeiten die in Fig. 11 im Querschnitt skizzierte Empfängeranordnung fertiggestellt, bei der durch Einbau des Empfängerstreifens a in eine spiegelnde Halbkugel b volle Schwärzung erreicht

[1]) Hoffmann.

[2]) C. Müller und E. Császár als Gast.

Digitized by Google

wird, die Schwärzungskorrektion also wegfällt, bei der zugleich aber die zu weiterer Genauigkeitssteigerung erforderliche präzisere Ausmessungsmöglichkeit der Empfängerfläche gegeben ist.

Bei der auch von Coblentz benutzten Paschen-Gerlachschen Anordnung, bei der ein schmaler Empfängerstreifen seitlich durch parallel davor liegende polierte Silberblenden begrenzt wird, ist der Einbau in eine spiegelnde Halbkugel nicht statthaft, weil ein Teil der die Silberblenden treffenden Strahlung auf dem Rückwege über die Halbkugel fälschend auf den Empfängerstreifen gelangen könnte. Bei der neuen Empfängeranordnung erfolgt die seitliche Streifenbegrenzung durch schräg gestellte polierte Silberstreifen *c*, welche die vom Ofen her sie treffende Strahlung nicht in die Halbkugel zurückwerfen, sondern gegen die unter kleinem Winkel dagegen geneigte Fläche *d* der geschwärzten Kupferblende *e*, an der sie absorbiert wird.

Als integrierender Thermoindikator für Parallelmessungen nach der Paschen-Gerlachschen Methode wurde an Stelle der Thermosäule, welche Paschen-Gerlach und Coblentz zum Ausgleich der Fehler aus ungleicher Streifendicke verwandten, ein Flächenbolometer hinter dem Empfängerstreifen angeordnet. Dies gewährt den wesentlichen Vorteil, vielfach breitere, höhere Empfindlichkeit ergebende und genauer ausmeßbare Empfängerstreifen verwenden und den Einfluß der Randbegrenzung wesentlich herabdrücken zu können.

Um auch die Wasserdampf- und Kohlensäurekorrektion auszuschalten, wurde der Strahlengang in ein großes Trockengehäuse eingebaut. Versuche mit dieser Anordnung sind im Gange.

103. Herstellung sehr dünner gleichmäßiger Metallfolien[1].

Die nach dem Wollaston-Walzverfahren für Bolometer hergestellten Platinfolien werden bei geringen Stärken vielfach ungleichmäßig. Man hat deswegen versucht, dünne gleichmäßige Folien aus einseitig elektrolytisch plattierten Metallblechen durch Abätzen der Unterlage zu isolieren; doch zeigen die im Handel befindlichen 1 bis 2 μ starken Platinfolien dieser Art den Nachteil eines sehr geringen Temperaturkoeffizienten, während die analogen, bis 1 μ herab erhältlichen Nickelschichten auf Kupfer eine sehr vorsichtige Abätzung des Kupfers erfordern, weil sonst auch Nickel sich auflöst (Abätzungsdauer bis zu mehreren Wochen). Ausgehend von der Erwägung, daß der Grund hierfür in der schlechten Löslichkeit der an sich vielfach stärkeren gewalzten Kupferunterlage zu suchen sei, ist im Berichtsjahr eine Verbesserung dieses elektrolytischen Verfahrens in der Weise versucht worden, daß die zu isolierende dünne elektrolytische Metallschicht (z. B. Nickel oder Gold) als Zwischenschicht zwischen zwei ebenfalls elektrolytischen, nur je einige μ starken Deckschichten aus unedlerem Metall (z. B. Kupfer) erzeugt wurde. Schlägt man die erste Kupferschicht aus einem sauren Kupferbade auf einem polierten Nickelkörper nieder, so läßt sich die Cu-Ni-Cu-Folie leicht ablösen. Es gelang auf diese Weise, durch beiderseitige Abätzung gleichmäßig dichte Nickelfolien bis 0,2 μ Stärke zu isolieren und die Abätzungsdauer mittels elektrolytischer Abätzung auf weniger als eine Stunde zu reduzieren. Da derart dünne, relativ sehr feste Folien auch für andere Gebiete (als akustische Membranen, Lenardsche Fenster, Röntgen- und Radiumfilter) von Wert sind, ist geplant, die Methode auch auf andere Metalle und Metallegierungen auszudehnen.

104. Lichteinheit[2].

Es wurden, angeregt durch von Gibson (Bureau of Standards) gefundene erhebliche Abweichungen, Versuche angestellt, ob für die erforderlichen lichtelektrischen Helligkeitsvergleichungen mittels starker Sektorschwächung das Talbotsche Gesetz in der erforderlichen hohen Genauigkeit (bis 1 ‰) erfüllt ist. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.

105. Steigerung der Flächenhelle und des Wirkungsgrads bei Wolframbogenlampen[1].

Die im Vorjahre begonnenen Versuche wurden, von der Osram-Studiengesellschaft Direktor Dr. Skaupy) mit Material unterstützt, in Richtung der Gewinnung solcher Elektrodenformen erfolgreich fortgesetzt, welche in einem größeren Strahlungswinkel (z. B. für Projektionszwecke) wesentlich erhöhte Lichtemission und verbesserten Wirkungsgrad ergeben. Als besonders geeignete Oberflächenformen erwiesen sich faltenfilterartig geriefte Trichtervertiefungen. Vgl. die Fig. 12, die das Leuchtbild einer derartigen Wolframelektrode mit nur teilweise und verschiedenartig geriefter Trichtervertiefung zeigt (*a* glatter Elektrodenrand, *b* glatte Trichterwand, *c* Riefen verschiedenen Winkels). Von besonderer Bedeutung war die erfolgreiche Ausbildung eines einfachen.

[1] C. Müller. [2] C. Müller (Vgl. auch Nr. 100).

Digitized by Google

präzise Hohlraumgliederungen an Wolframelektroden gestattenden Bearbeitungsverfahrens in der Reichsanstalt zusammen mit der Osramfabrik A (Direktor Dr. Mey und Dr. Friedrich).

106. Viellinienspektrum des Wasserstoffs [1]).

Die Untersuchung über das Viellinienspektrum wurde fortgesetzt. Die Fulcherschen Banden im Rot und Grün wurden weiter ergänzt und eine neue Bande gleicher Bauart im Blau gefunden. Durch Verwendung eines gebremsten Kathodenstrahls in verdünntem Wasserstoff als Lichtquelle konnten diese Banden von dem übrigen Teil des Viellinienspektrums räumlich abgetrennt werden; sie werden durch langsame Elektronen stärker erregt als die anderen Linien. Dieselben Elektronengeschwindigkeiten, welche die Fulcherschen Banden anregen, bringen auch ein kontinuierliches Spektrum zur Aussendung, das sich weit ins Ultraviolett erstreckt (Veröffentlichung s. Anhang 1, Nr. 91).

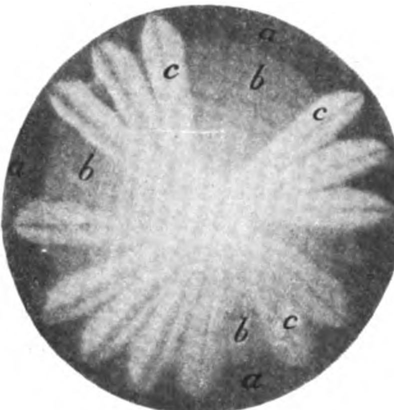


Fig. 12.

107. Einfluß metallischer Oberflächen auf die Spektra von Hg, Cd, He, O [2]).

Die Untersuchung über den Einfluß der metallischen Oberflächen auf einzelne Spektra wurde abgeschlossen und veröffentlicht (s. Anhang 1, Nr. 92).

108. Heliumlinien [3]).

Die Untersuchung der Feinstruktur der Heliumlinien wurde auf das Ultraviolett ausgedehnt. Zur besseren Ausnutzung des großen Rowlandschen Gitters wurde eine besondere Kassette von 2 m Länge konstruiert, in der auf einem Filmstreifen das ganze sichtbare Spektrum in 1. Ordnung photographiert werden kann.

109. Feinstruktur der Lithiumlinien [4]).

Die Untersuchung der Feinstruktur der Lithiumlinien ist begonnen. Mit einer Geißlerschen Röhre, enthaltend Li-Amalgam, betrieben mit Transformator, ist es gelungen, das Linienspektrum des Lithiums dauernd und lichtstark zu erhalten.

110. Kadmiumlinien [5]).

Eine Untersuchung der Kadmiumlinien verschiedener Erzeugungsweise ist zwecks Anschluß des Meters an die Wellenlänge des Lichtes begonnen; es soll festgestellt werden, innerhalb welcher Grenzen die Konstanz der Wellenlängen bei den verschiedenen Erzeugungsarten verbürgt ist.

111. Registrierphotometer [6]).

Das von der Notgemeinschaft deutscher Wissenschaft zur Verfügung gestellte, von den Herren Koch und Goos in Hamburg konstruierte Registrierphotometer zum Aufnehmen von Schwärzungskurven photographischer Platten und Filme ist in der Reichsanstalt aufgestellt und in Betrieb genommen worden.

112. Versuche über das Sehen von Bewegungen [1]).

Es wurde gefunden, daß beim Sehen von Bewegungen Gestaltsänderungen eintreten. Charakteristisch für periodische Bewegungen ist eine gewisse Periodendauer von 0,23 Sekunden. Bei kürzerer Dauer der Periode zeigen sich starke Veränderungen nicht nur in der Gestalt der bewegten Figuren, sondern auch in ihrer Anzahl. Die Abhängigkeit der Erscheinung von den Versuchsbedingungen wurde untersucht. Die Ergebnisse sind veröffentlicht (vergl. Anhang 1 Nr. 90).

Unterabteilung IVb.

113. Photometrische Prüfungen [7]).

Nachstehende Tabelle enthält die im Jahre 1923 ausgeführten photometrischen Prüfungen:

39 (49) beglaubigte Hefnerlampen, davon
- 3 (7) mit Visier,
- 18 (17) mit optischem Flammenmesser,
- 7 (23) mit Visier und optischem Flammenmesser.
- 3 (0) mit Visier und Ersatzdochtrohr,
- 2 (0) mit optischem Flammenmesser und Ersatzdochtrohr,
- 6 (2) mit Visier, optischem Flammenmesser und Ersatzdochtrohr;

13 (57) Kohlenfadenlampen als Normallampen für photometrische Zwecke;

271 (253) Metallfadenlampen, davon
- 255 (203) als Normallampen für photometrische Zwecke,
- 16 (50) in Dauerprüfung mit im ganzen 4900 (15800) Brennstunden:

[1]) Gehrcke u. Lau. [2]) Lau u. Janicki. [3]) Gehrcke, Lau, Leo. [4]) Janicki. [5]) Gehrcke u. Janicki. [6]) Gehrcke. [7]) Brodhun, Liebenthal.

Digitized by Google

3 (0) Glimmlampen;
1 (1) Beleuchtungseinrichtung für elektrische Glühlampen;
4 (0) Petroleumlaternen;
1 (2) stehender Gasglühlichtkörper in kurzdauernder Prüfung;
1 (0) durch die γ-Strahlen eines Radiumpräparates zum Leuchten erregter Barium-platincyanür-Kristall;
1 (0) kinematographischer Apparat (gemeinsam mit Unterabteilnng IIb);
1 (0) Glasblock, untersucht auf seine Lichtdurchlässigkeit für weißes Licht.

Der Umfang der photometrischen Prüftätigkeit ist, obgleich sich in der zweiten Hälfte des Jahres ein vorübergehendes starkes Nachlassen von Prüfungsanträgen bemerkbar machte, gegen das Vorjahr etwas gewachsen. Die durch die zeitweilige Verminderung der Prüfungen frei gewordene Zeit wurde benutzt, die elektrischen Normallampen der Reichsanstalt durch Vergleich untereinander und durch Zurückgehen auf die Hefnerlampe einer besonders ausgedehnten Kontrolle zu unterziehen.

Die Gesamtzahl der eingesandten, für photometrische Zwecke bestimmten elektrischen Normallampen ist ungefähr die gleiche wie im Vorjahr geblieben (268 gegen 260 im Vorjahr). Jedoch ist die Zahl der zu Messungen viel geeigneteren Kohlenfadenlampen leider wesentlich kleiner geworden (13 gegen 57). Von den als Normallampen geprüften 255 (203) Metallfadenlampen wurden 136 (113) auf mittlere räumliche Lichtstärke, davon 72 außerdem noch auf mittlere Lichtstärke senkrecht zur Lampenachse oder auf Lichtstärke in einer bestimmten Ausstrahlungsrichtung oder auf Lichtstärke in Richtung der Lampenachse untersucht. Die Prüfung der Metallfadenlampen erforderte einen noch größeren Zeitaufwand als im Vorjahr. Dies rührte hauptsächlich daher, daß sich im Berichtsjahr die Zahl der Spiraldrahtlampen mit ringförmig nahezu senkrecht zur Lampenachse angeordnetem Faden weiter vermehrt hat (vgl. letzten Tätigkeitsbericht).

Von den Normallampen waren 63 (55) für das Ausland (Holland, Österreich, Rußland) bestimmt.

Von den 16 in Dauerprüfung genommenen Metallfadenlampen wurden 10, welche von ein und derselben Firma nacheinander in zwei Serien zu je 5 Stück eingereicht waren, bei einer Spannung von 2 V bis zum Erlöschen gebrannt; die größte beobachtete Lebensdauer betrug 621 Brennstunden. Die übrigen 6 kurz vor Jahresschluß von einer anderen Firma eingesandten Lampen haben bis jetzt etwa 100 Stunden gebrannt.

Die 3 Glimmlampen wurden derselben umfangreichen Prüfung wie früher (vgl. Tätigkeitsbericht vom Jahre 1921) unterzogen. Die relative Genauigkeit der ermittelten Lichtstärkenwerte beträgt etwa 1,5%; die absolute Genauigkeit wird in Anbetracht der großen Farbendifferenz gegen die Normallampe auf etwa 10% geschätzt.

Die Beleuchtungseinrichtung, bestehend aus einer Klarglasglocke und einem Milchglasschirm, wurde in Verbindung mit einer mitgelieferten Spiraldrahtlampe zu 225 Volt 200 Watt gemessen. Sie bewirkte eine Verstärkung der mittleren oberen hemisphärischen Lichtstärke um 16%, eine Schwächung der mittleren unteren hemisphärischen Lichtstärke um 36%, demnach eine Schwächung der mittleren räumlichen Lichtstärke um 10%.

Die unter der Bezeichnung Sturmlaternen eingesandten Laternen mit je einem Petroleumflachbrenner erwiesen sich bei der siebenstündigen Prüfung als bemerkenswert konstant in Lichtstärke und stündlichem Petroleumverbrauch.

Ein Bariumplatincyanür-Kristall von 1 cm^2 Oberfläche, der durch die γ-Strahlen eines 2 cm abstehenden Radiumpräparates von 43 mg Gehalt zum Leuchten erregt war, wurde mittels eines Universalphotometers, bei welchem der Kristall am Orte der Öffnung des Okulardeckels abgebildet wird, auf Flächenhelle senkrecht zur Ebene des Kristalls geprüft. Die Flächenhelle ergab sich zu $1{,}3 \cdot 10^{-6}$ HK/cm^2. Es ist dies die kleinste von der Reichsanstalt gemessene Flächenhelle. Mit Rücksicht auf die sehr geringe Helligkeit im Photometer, sowie mit Rücksicht auf den großen Farbenunterschied gegen die Normallampe dürfte sich die Genauigkeit des angegebenen Wertes auf höchstens 15% belaufen.


Digitized by Google

Der eingesandte kinematographische Apparat wurde auf die am Orte des Projektionsschirmes erzeugte Beleuchtungsstärke untersucht.

114. Abhängigkeit der Hefnerlampe vom Luftdruck.[1]) Die im vorjährigen Bericht erwähnte Untersuchung, die durch eine von Boltzmann und Basch herausgegebene Arbeit *(Wien. Ber.* ***131*** *[2a], 1. Heft, 1922)* veranlaßt war, ist zum Abschluß gebracht und veröffentlicht worden (s. Anhang 1, Nr. 93).

115. Leuchtmittelsteuergesetz.[2]) Die Prüftätigkeit der Reichsanstalt für Steuerbehörden gemäß dem Leuchtmittelsteuergesetz beschränkte sich auf die Messung von 53 (20) Metallfadenlampen. Von den elektrischen Prüfämtern sind nach deren letztem Jahresbericht in der Zeit vom 1. Mai 1922 bis zum 30. April 1923 derartige Prüfungen nicht ausgeführt worden.

116. Empfindlichkeit optischer Gläser gegen Luftfeuchtigkeit.[3]) Es wurden auf Anregung der Firma C. P. Goerz Untersuchungen über die hygroskopischen Eigenschaften von optischen Gläsern angestellt mit dem Ziele, die Veränderungen der Oberflächen durch Luftfeuchtigkeit mit Hilfe photometrischer Messungen zahlenmäßig festzulegen und so zu einer Klassifizierung zu gelangen. Um den Einfluß der Luftfeuchtigkeit zu beschleunigen, wurden die Gläser bei erhöhter Temperatur (etwa 80° bis 90°) der Einwirkung mit Wasserdampf fast gesättigter Luft ausgesetzt. Die Probestücke hatten die bei der Eosinprobe üblichen Abmessungen ($60 \times 30 \times 6$ mm) und waren gut poliert. Bei 90° Temperatur waren nach einer Versuchsdauer von 5 Tagen auch bei Glasarten, deren große Widerstandsfähigkeit gegen feuchte Luft erfahrungsgemäß feststeht, Veränderungen der Oberfläche vorhanden. Die Glasproben befanden sich zusammen mit einem Wasser enthaltenden Blechgefäß in einem Messingkasten, der durch eine gut gepaßte Messingplatte abgeschlossen war. Dieser Messingkasten wurde in einen elektrischen Thermostaten eingesetzt. Die Temperaturverteilung im Innern des Messingkastens wurde durch 9 Thermoelemente überwacht. Durch eine geeignete Regelung des Heizstromes mit einem Maximumthermometer konnten die Temperaturschwankungen im Innern des Messinggefäßes auf weniger als $^1/_5{}^0$ herabgedrückt werden. Infolge dieser geringen Schwankung und dadurch, daß die Temperatur der die Gläser umgebenden Luft etwa 1° höher war als die des Wassers, wurde eine Kondensation des Wasserdampfes auf den Glasproben vermieden. Die Untersuchungen werden fortgeführt, um ein sicheres Urteil über die praktische Brauchbarkeit der Ergebnisse zu gewinnen.

117. Untersuchung von Fernrohren.[3]) Die Untersuchungen von Fernrohren wurden fortgesetzt. Die Apparatur zur Bestimmung der Lage der Bildflächen bei Fernrohren ist fertiggestellt. Durch Vervollkommnung der Halte- und Justiervorrichtungen für das zu untersuchende Fernrohr ist sie so ergänzt worden, daß eine wesentliche Verkürzung der Untersuchungszeit erzielt wird. Die Lage der Bildflächen wurde für eine größere Anzahl von Prismen-, Galilei- und Zielfernrohren untersucht. Die Prüfungsergebnisse sowie die ausführliche Beschreibung des Apparates sollen in kurzem in dieser Zeitschrift veröffentlicht werden.

118. Dioptrische und spektroskopische Prüfungen.[4]) Es wurden 18 (0) Glasproben auf ihr Lichtbrechungsvermögen und 7 (0) Lummer-Gehrckesche Interferenzplatten auf Planparallelismus untersucht. Zur Bestimmung der Lichtdurchlässigkeit von 10 (0) eingesandten Glasproben im Ultravioletten wurden Aufnahmen mit dem Quarzspektrographen gemacht.

Außerdem wurden im Berichtsjahre folgende optische Apparate geprüft:

1 (0) Prismenfernrohr auf Vergrößerung und Lichtstärke;
2 (0) Prismenfernrohre auf verschiedene optische Konstanten;
6 (0) Prismenfernrohre auf Lichtdurchlässigkeit;
2 (2) Mikroskope mit je 2 Okularen und 3teiligem Objektiv auf Vergrößerung;
6 (20) Photographische Objektive auf Brennweite, Schnittweiten, Verzeichnung für verschiedene Bildwinkel;
2 (0) Photographische Objektive auf Lage der Knotenpunkte.

119. Prüfung von Quarzplatten[5]). Während des Jahres 1923 wurden 14 (15) Saccharimeter-Quarzplatten zur Prüfung eingesandt. Hiervon war 1 Quarzplatte wegen nicht genügender optischer Reinheit für saccharimetrische Zwecke nicht geeignet.

---

[1]) Liebenthal. [2]) Brodhun, Liebenthal. [3]) Wetthauer.
[4]) Brodhun, Schönrock, Wetthauer. [5]) Schönrock.


Digitized by Google

Die Durchmessung der Dispersion des Quarzes für ultrarote Strahlen im Zweiglaboratorium auf dem Telegraphenberg bei Potsdam ist abgeschlossen worden. Die Veröffentlichung der Ergebnisse an Quarz wie auch der früheren an Flußspat steht vor dem Abschluß.

120. Lichtbrechung von Quarz[1].

Laboratorium für Radioaktivität.

Im Berichtsjahre wurden 87 Radium-, 39 Mesothor- und 1 Radiothorpräparat nach der γ-Strahlenmethode geprüft. Außerdem lagen einige Anträge auf Untersuchung sehr schwach radioaktiver Materialien (Erze bzw. Erzrückstände) vor, die zum Teil längere chemische Vorarbeiten erforderten.

121. Prüfung radioaktiver Präparate[2].

Bei den Prüfungen starker Präparate für ärztliche Zwecke bestanden oft Zweifel über die Absorption der γ-Strahlen in den dünnen Glas- oder Metallfiltern, welche die radioaktiven Substanzen umhüllen. Die folgende Tabelle, welche die diesbezüglichen Messungen enthält, dürfte ein gewisses Allgemein-Interesse besitzen, wenn auch die Zahlen zunächst nur für die spezielle hier angewandte Versuchsanordnung (Bleischicht dicht vor dem Elektrometer, Präparate mit Filter in größerem Abstand) Gültigkeit haben.

122. Absorption in Filtern[2].

Prozentuale Absorption pro $^1/_{10}$ mm Filterdicke.

Absorbierende Filter, $^1/_{10}$ mm dick	Vorgeschaltete Bleischicht		
	5 mm	15 mm	25 mm
Glas	0,070 %	0,075 %	0,090 %
Aluminium	0,082 %	0,104 %	0,126 %
Messing	0,22 %	0,27 %	0,31 %
Silber	0,33 %	0,33 %	0,33 %
Blei	0,80 %	0,55 %	0,46 %
Platin	1,00 %	0,80 %	0,78 %

Auffallend ist, daß bei Filtern geringer Dichte die Absorption mit wachsender Bleischicht zunimmt, bei Filtern größerer Dichte abnimmt. Die Gründe hierfür sind nicht ohne weiteres zu übersehen.

Die bisherigen Angaben über die Zahl Z von α-Teilchen, welche 1 g Ra in jeder Sekunde aussendet, weichen stark voneinander ab. (Rutherford und Geiger 1908: $Z = 3{,}57 \times 10^{10}$, Hess und Lawson 1918: $Z = 3{,}72 \times 10^{10}$.) Bei der Bedeutung dieser Zahl für die Berechnung vieler wichtiger atomistischer Konstanten lag die Notwendigkeit einer Neubestimmung vor. Es boten sich zwei verschiedene Wege: 1. die elektrische Zählmethode unter Verwendung des in der Reichsanstalt ausgearbeiteten Spitzenzählers, 2. die Szintillationsmethode. Die Versuche nach der zweiten Methode sind jetzt abgeschlossen (Anhang 1, Nr. 107).

123. Zahl der α-Teilchen pro g Ra[3].

Gegen die Szintillationszählung als quantitative Methode können Bedenken zweierlei Art erhoben werden: 1. Es ist nicht ohne weiteres sicher, ob jedes α-Teilchen, welches auf die mit phosphoreszierender Substanz bedeckte Fläche auffällt, wirklich auch eine Szintillation hervorruft. 2. Ermüdungserscheinungen im Auge können bewirken, daß nicht jede Szintillation erfaßt und mitgezählt wird. Einwand 1 wurde durch Verwendung verschiedenen phosphoreszierenden Materials und durch eingehende Untersuchung der Phosphoreszenzfähigkeit der einzelnen Kristalle behoben. Sorgfältig hergestelltes Zinksulfid erwies sich in Hinsicht auf Helligkeit der Szintillationen allen andern Materialien, auch dem Diamant gegenüber als weit überlegen. Zur Behebung des zweiten Einwandes, der sich bei genauer Untersuchung als viel erheblicher herausstellte als allgemein angenommen wird, wurde ein Doppelzählverfahren angewandt, das eine Berechnung der subjektiven Fehler beim Zählen ermöglichte. Das Wesentliche dieses Verfahrens bestand darin, daß die Szintillationen gleichzeitig von zwei Beobachtern auf Vorder- und Rückseite des Leuchtschirmes beobachtet und auf dem ablaufenden Papierstreifen eines Chronographen registriert wurden. Alle von dem Beobachter A registrierten Szintillationen würden mit den von B registrierten zeitlich

---

[1]) Schönrock. [2]) Geiger, Bothe. [3]) Geiger, Werner.

Digitized by Google

zusammenfallen, wenn es möglich wäre, fehlerlos zu zählen. Da aber längere Zählreihen auch für ein gesundes und gut ausgeruhtes Auge eine erhebliche Anstrengung bedeuten, die sich in Ermüdung und häufigem Blinzeln äußert, wird manche Szintillation übersehen. Man findet daher auf dem Registrierstreifen neben den für beide Beobachter koinzidierenden Szintillationsmarken auch solche, die zwar von A, aber nicht B gesehen wurden, und umgekehrt. Sind N_1 und N_2 die Szintillationszahlen, welche die Beobachter A und B während derselben Beobachtungsdauer registriert haben, und ist C die Zahl der Koinzidenzen, also die Zahl der von beiden Beobachtern gleichzeitig registrierten Szintillationen, so ergibt sich aus einer einfachen Wahrscheinlichkeitsbetrachtung die Zahl N der während der Beobachtungsdauer wirklich auftretenden Szintillationen zu $N = \frac{N_1 N_2}{C}$, vorausgesetzt, daß C eine große Zahl ist. Die Versuche zeigten, daß auch ein geübter Beobachter bei längeren Zählreihen im Mittel nur wenig mehr als 90% der auftretenden Szintillationen zu registrieren vermag.

Auch durch Herstellung langlebiger Präparate (Ra Em) konnten gegenüber den früheren Versuchen (aktiver Niederschlag) erhebliche Fortschritte erzielt werden.

Aus Zählungen von 30000 Szintillationen unter stark variierten Bedingungen ergab sich Z zu $3{,}40 \times 10^{10}$. Soweit sich die Zählungen mit dem Spitzenzähler bisher übersehen lassen, führen sie auf einen 1 bis 2% höher liegenden Wert.

124. Unterscheidung v. Radium, Mesothor und Radiothor[1]). Es fehlt bisher an einer allgemein anwendbaren Methode, allein aus der γ-Strahlung eines Radiumpräparates auf seinen Gehalt an Mesothor oder Radiothor zu schließen, da nämlich die Absorptionskoeffizienten der drei γ-Strahlungen nur sehr wenig voneinander verschieden sind. Es wurde eine zylindrische Meßanordnung ausgearbeitet, welche mit einer so hohen Ausnutzung der γ-Strahlen arbeitet, daß Präparate von 5 mg Ra-Äquivalent noch durch eine Bleidicke von 11 cm hindurch gemessen werden können. Bei Anwendung so großer Bleidicken sind die Unterschiede in der Absorption bereits sehr erheblich, so daß auch geringere Verunreinigungen von Radiumpräparaten mit Mesothor und Radiothor sicher und rasch zu erkennen sind, ohne daß es nötig wäre, die Präparate zu öffnen. Auch quantitative Aufschlüsse über die Zusammensetzung von Präparaten lassen sich gewinnen, sobald das Instrument mit Präparaten von bekannter Zusammensetzung geeicht worden ist.

125. Radiumnormallösungen[1]). Die Untersuchungen über Normallösungen wurden abgeschlossen mit dem Ergebnis, daß die Konstanz der von der Reichsanstalt hergestellten und ausgegebenen Normalampullen über einen Zeitraum von mindestens zwei Jahren feststeht; der Gehalt der Ampulle kann mit einer Fehlergrenze von ± 1% angegeben werden. Die Normalampullen wurden auch unabhängig von der Reichsanstalt im Freiberger Radiuminstitut einer sorgfältigen Kontrolle unterzogen, welche ebenfalls gute Übereinstimmung der Ampullen untereinander und mit dem Sollwert ergab. Bisher wurden 56 Normalampullen seitens der Reichsanstalt abgegeben; diese Zahl zeigt, daß ein ausgesprochenes Bedürfnis nach solchen Lösungen vorliegt.

126. Eichmethoden für Emanationselektrometer[1]). Als Eichpräparate für Emanationselektrometer können außer Normallösungen auch Emanationsröhrchen dienen, nachdem diese auf einen passenden Bruchteil abgeklungen sind. Die hierbei eingehende Zerfallskonstante λ der Radium-Emanation wurde einer erneuten Bestimmung unter Benutzung aller neueren Erfahrungen unterworfen. Nach verschiedenen Methoden ergab sich in guter Übereinstimmung $\lambda = 0{,}1812 \pm 0{,}1$%. Dieser Wert ist um etwa 0,7% höher als der Rutherford-Curiesche. Schließlich kann man auch die Emanationspräparate, statt sie abklingen zu lassen, in passendem Verhältnis (etwa $1:10^5$) verdünnen; eine einfach und sicher arbeitende Gaspipette wurde für diesen Zweck konstruiert (Anhang 1, Nr. 103).

127. Emissionsrichtung sekundärer Kathodenstrahlen[1]). Es wurden Versuche nach der Wilsonschen Nebelmethode in Angriff genommen, um Aufschlüsse zu erhalten über die Richtung, in welcher die durch Röntgenstrahlen in Gasen ausgelösten Photoelektronen (sekundäre Kathodenstrahlen) emittiert werden. Das vorläufige qualitative Ergebnis dieser Versuche zeigt, daß bei Anwendung harter Röntgenstrahlen der größte Teil der Photoelektronen unter einem Winkel, welcher etwas kleiner als 90° ist, gegen die Primärrichtung

[1]) Bothe.

Digitized by Google

emittiert wird. Die Versuche werden fortgesetzt mit dem Ziel, auch quantitative Resultate zu gewinnen. Es ist zu hoffen, daß aus den Ergebnissen dieser Versuche Schlüsse gezogen werden können auf Einzelheiten des Elementarprozesses der Photoemission, sowie auf die Struktur der Strahlungsquanten. Die bisherigen Ergebnisse deuten darauf hin, daß den Strahlungsquanten ein Drehimpuls zuzuschreiben ist (Anhang 1, Nr. 104).

128. Experimenteller Nachweis des Strahlungsrückstoßes [1].

Bei der Untersuchung harter Röntgenstrahlen nach der Wilsonschen Nebelmethode zeigte sich in Luft und Wasserstoff außer den bekannten verhältnismäßig langen Bahnen der photoelektrischen Kathodenstrahlen noch eine Sekundärstrahlung sehr kurzer Reichweite. Diese wurde nach der Ionisationsmethode eingehend untersucht; es wurde gefunden, daß diese neuen Sekundärstrahlen aus verhältnismäßig langsamen Elektronen bestehen und allgemein beim Auftreffen genügend harter Röntgenstrahlen auf Materie entstehen. Die Reichweite dieser Strahlen in Luft von Atmosphärendruck wird erst bei einer Röhrenspannung von etwa 70 kV_{max} merklich und ist bei 86 kV_{max} erst von der Größenordnung 1 mm. Mit zunehmendem Atomgewicht des Sekundärstrahlers scheint die Reichweite etwas abzunehmen. Die Intensität dieser Strahlen ist bei 86 kV noch sehr gering, sie beträgt in Luft nur etwa 1%, in Wasserstoff und Helium 0,1—0,2% der Gesamtionisation in Luft von gleicher Dichte.

Diese Strahlung findet ihre Deutung im Zusammenhang mit der Compton-Debyeschen Theorie der Zerstreuung der Röntgenstrahlen: Bei der Ablenkung eines Strahlungsquants durch das Kraftfeld eines Elektrons überträgt das Quant vermöge seiner endlichen Masse einen Teil seiner Energie auf das Elektron, so daß dieses einen Rückstoß erleidet. Die obigen experimentellen Ergebnisse sind in befriedigendem Einklang mit dieser Theorie. Hierin ist ein direkter Beweis für die Existenz der Lichtquanten zu erblicken. Die Versuche werden mit noch härteren Röntgenstrahlen fortgesetzt. Es ist zu erwarten, daß eine exakte Prüfung der Theorie möglich sein wird, und daß über weitere Einzelheiten des Vorganges Aufschlüsse erhalten werden.

129. Höhenstrahlung [2].

Nach Abschluß der bereits im vorigen Bericht besprochenen Vorarbeiten zum Studium der Höhenstrahlung (auch durchdringende oder kosmische Strahlung genannt) bot sich durch das Entgegenkommen der Leitung der Jungfraubahn und anderer Donatoren Gelegenheit, die bisher noch sehr wenig geklärte Strahlung unter besonders günstigen Umständen, nämlich im Gletschereis und in größerer Höhe, zu beobachten. Das Gletschereis absorbiert die Strahlung der in der Erdkruste enthaltenen radioaktiven Substanz und schaltet so einen sonst sehr störenden Faktor aus; die große Höhe erleichtert alle Messungen durch die im Vergleich zum Flachland etwa 4 mal so große Intensität der Strahlung.

Es ergab sich mit Sicherheit [3], daß es sich um eine sehr harte γ-Strahlung handelt, wie sie den uns bekannten Radioelementen nicht zukommt. So absorbiert beispielsweise eine 1 m dicke Wasserschicht von der Höhenstrahlung etwa 20%, von der Thor-C-Strahlung dagegen, die härter ist als die aller anderen bekannten Radioelemente, bereits 96%. Erst wenn die Meßinstrumente unter 12 m dicke Eisschichten gebracht wurden, war von der Höhenstrahlung nichts mehr zu merken.

Einbau der Instrumente in tiefe Gletscherspalten ermöglichte die Feststellung, ob die Strahlung diffus oder mit einer Vorzugsrichtung aus dem Himmelsraum in die Atmosphäre eindringt. Ginge z. B. die Strahlung von irgendeinem bestimmten Stern oder Sternbild aus, so müßten die Instrumente gerade dann ansprechen, wenn die Strahlungsquelle infolge der Erddrehung einem beim Instrument befindlichen Beobachter sichtbar wird. Zu allen andern Zeiten würde das Eis die Strahlung absorbieren. Versuche dieser Art sind bei der Kleinheit des Effekts recht schwierig, wie schon daraus hervorgeht, daß auch auf dem Jungfraujoch die Höhenstrahlung nicht stärker auf die Instrumente wirkt, als 1 mg Ra in 11 m Entfernung. Immerhin ergab sich eine Andeutung, daß die Strahlung vorwiegend aus dem Gebiet der Milchstraße, also von einer Stelle, woselbst die jungen roten Riesensterne und auch die ungeformten Nebelmassen sich besonders zahlreich vorfinden, zu uns gelangt. Es eröffnen sich damit Probleme von größter Tragweite, deren Lösung durch weitere Untersuchungen mit verbesserten Hilfsmitteln und unter noch günstigeren Beobachtungsbedingungen so rasch wie möglich gefördert werden soll (Anhang 1, Nr. 108).

[1]) Bothe. [2]) Kolhörster, Geiger, Nernst. [3]) Kolhörster (z. T. mit Herrn v. Salis).



Chemisches Laboratorium.

Außer den laufenden Laboratoriumsarbeiten, die aus den Bedürfnissen der einzelnen Abteilungen hervorgingen, sind die nachstehenden größeren Untersuchungen ausgeführt worden:

130. Glas[1]. Die amtliche Prüfung auf natürliche und Verwitterungsalkalität nach dem Eosinverfahren an Bruchflächen betraf 45 Glassorten aller hydrolytischen Klassen.

An Apparatenglas wurden 9 Sorten auf Lösungsalkalität geprüft.

Einer genaueren Untersuchung wurde die Fleckenempfindlichkeit der optischen Gläser (vgl. Nr. 116) unterzogen. In besonderem wurde versucht, eine einfache und praktische Methode zur Bestimmung derselben auszuarbeiten. Die Ergebnisse dieser Arbeit und ein Vergleich mit den bisher bekannten Methoden sind veröffentlicht (Anhang 1, Nr. 117).

Über „Thüringer Glas" liegt eine amtliche Mitteilung aus der Reichsanstalt vor, in der die hydrolytischen Methoden zur Prüfung der Angreifbarkeit zusammenfassend behandelt werden (Anhang 1, Nr. 113).

Zur qualitativen Prüfung einzelner Glasindividuen wird als empfindlicher Indikator das Phenolphthalein in wässeriger Suspension empfohlen; quantitative alkalimetrische Bestimmungen unbekannter Glassorten werden zweckmäßig ausgeführt, indem man Wasser in zugeschmolzenen Röhren bei erhöhter Temperatur einwirken läßt und die alkalische Lösung nachträglich mit Salzsäure titriert bei Gegenwart von Äther und Jodeosin. Minderwertiges Glas wird leicht kenntlich und ist vom chemischen Gebrauch auszuschließen.

131. Aluminium[2]. Bei der fortgesetzten Untersuchung über die Angreifbarkeit von Aluminiumdünnblech wurde das Folgende festgestellt:

1. Die „dezimale Salzsäureprobe" kann als Maß für die allgemeine relative Angreifbarkeit der Aluminiumbleche gelten, denn auch alkalische Lösungen und Wasser ergeben bei verschiedenen Blechen gewöhnlich die gleiche Reihenfolge des Angriffs wie verdünnte Salzsäure.

2. Die größte Reaktionsgeschwindigkeit zeigen Bleche, die bei der Auflösung eine lehmige Trübung von Aschenbestandteilen usw. ergeben. Die Lockerheit des metallischen Gefüges wirkt hier besonders ungünstig.

3. Besonders günstig verhielten sich Dünnbleche der Bezugsquelle Heddernheim aus technischem Reinaluminium, die mit besonderer Sorgfalt gewalzt und in verdünnter Salzsäure klar löslich waren.

4. Die durch Erwärmung mit reinem Wasser hervorgerufene oxydische Deckschicht ist um so weniger porös und gewährt einen um so wirksameren Schutz gegen die Wirkung verdünnter Säuren usw., je besser das Metallmaterial ist. Auch die künstlichen Schutzüberzüge anderer Art lassen sich mit Hilfe der thermischen Salzsäureprobe auf ihre Wirksamkeit leicht vergleichen.

132. Reines Eisen[3]. Ein Stab reinsten Eisens, der von W. C. Heraeus-Hanau aus Elektrolyteisen hergestellt ist und der Sammlung reiner Metalle des chemischen Laboratoriums angehört, wurde genau analysiert.

Von Verunreinigungen waren nachweisbar und bestimmbar: Si (0,01 %), Ni (0,0012 %). Die Untersuchung auf Kohlenstoff ist noch nicht abgeschlossen.

133. Chrom[4]. Die fortschreitende Verwendung des Chroms zur Herstellung widerstandsfähiger Überzüge und Legierungen, von denen besonders die Chromstähle für die Meßtechnik von Interesse sind, hat zur Prüfung der analytischen Bestimmung geführt.

Die Analyse einer nach dem Goldschmidtschen Verfahren aluminothermisch hergestellten Probe des Metalls ergab einen Reingehalt von 98,65 % Cr. Von fremden Bestandteilen waren bestimmbar: Si (0,21 %), Fe (0,55 %), Al (0,34 %), Mn (0,17 %).

Die Untersuchungen sollen auf Metall, das nach neueren elektrolytischen Verfahren hergestellt ist, ausgedehnt werden.

134. Photochemische Arbeiten[5]. 1. Die Arbeiten über die Masse des latenten Bildes in Chlor-, Brom-, Jod- und Auskopieremulsionen wurden fortgesetzt und führten zu dem Resultat, daß Licht der Wellenlängen 436, 405 und 365 $m\mu$ pro $h\nu$ ein Silberatom in Freiheit setzt (Anhang 1, Nr. 115, 116).

[1] Mylius, Tepohl. [2] Mylius. [3] Fischer, Tepohl.
[4] Fischer. [5] Noddack.


Digitized by Google

Die Abweichung von der Proportionalität zwischen Lichtmenge und gebildeter Silberatomzahl bei großen Lichtmengen wird durch allmählich eintretenden Mangel an Akzeptoren erklärt und läßt sich durch Zusatz geeigneter Halogenakzeptoren (z. B. Silbernitrat) beseitigen.

2. Die Silbermenge des latenten Bildes in Bromsilberplatten unter der Einwirkung von α-Strahlen und von Röntgenstrahlen wird bestimmt und ergibt pro α-Teilchen 50000 Silberatome, pro Röntgenquant mehrere tausend Silberatome (Anhang 1, Nr. 114).

Weitere Versuche sind im Gange.

3. Die unter 1 und 2 gefundenen Resultate erklären quantitativ das verschiedene Verhalten photographischer Platten gegen Licht einerseits und Röntgen- und α-Strahlen andrerseits.

Die auf Grund der quantenhaften Absorption aufgestellten Formeln für die Schwärzungskurve werden durch Versuche geprüft und bestätigt.

4. Die Versuche zur Unterschreitung der photographischen Schwelle durch Kornzählung oder Titration des entwickelten Silbers wurden fortgesetzt und ergaben eine Bestimmung von Lichtmengen, die nur $^1/_{30}$ des photographischen Schwellenwertes betragen.

Aus der maximalen Unterschiedsempfindlichkeit des Auges ließ sich die photographische Schwelle in Übereinstimmung mit der Erfahrung berechnen.

5. Die Solarisation wurde untersucht und durch die bei steigender Belichtung im Korn eintretende Koagulation der gebildeten Silberatome gedeutet.

6. Es wurden Versuche[1]) über die maximale Empfindlichkeit der Retina bei kontinuierlicher und intermittierender Beleuchtung gemacht, um Aufschlüsse über die Struktur der Strahlung zu gewinnen.

Diese Versuche werden fortgesetzt.

Präzisionsmechanisches Laboratorium[2]).

135. Prüfungsarbeiten.

Im Berichtsjahr kamen 65 Prüfungsanträge zur Erledigung, gegen 109 im Vorjahre. Die Prüfungen erstreckten sich u. a. auf

5	(8)	Maßstäbe,	29	(18)	Lehren,
1	(5)	Mikrometer,	10	(12)	Sphärometerringe,
107	(367)	Endmaße,	77	(41)	Stimmgabeln verschiedener Tonhöhe,
57	(71)	Leitspindeln,	6	(0)	Uhrfedern,
98	(28)	Normalgewinde,	4	(0)	Hämacytometer,
15	(0)	Gewindebohrer,	2	(0)	Tachometer.

Hierzu traten noch eine größere Anzahl Messungen für den eigenen Bedarf der Reichsanstalt, sowie Erledigungen von Anfragen technischen Inhalts.

In dem aus der obigen Zusammenstellung ersichtlichen Rückgang der Prüfungsanträge kommt die Verschlechterung der Wirtschaftslage zum Ausdruck. Die Abnahme der Endmaßprüfungen ist indes zum Teil eine Folge der Abtretung dieses Arbeitsgebietes an das Laboratorium für Längenmessungen der bisherigen *Reichsanstalt für Maß und Gewicht* aus Anlaß der Verschmelzung. Da einer der drei wissenschaftlichen Beamten nahezu das ganze erste Viertel des Berichtsjahres wegen Krankheit beurlaubt war, ein zweiter Anfang Dezember aus Anlaß seiner Pensionierung ausschied, war das Laboratorium doch voll mit Prüfungsarbeiten beansprucht. Viel Beobachtungszeit ging wieder durch unzureichende Heizung verloren.

136. Gewindeprüfungen.

Die im vorigen Bericht (S. 103) erwähnten Verbesserungen des Flankenmeßgerätes sind vollendet worden. Der Apparat gestattet jetzt durch eine zusammengesetzte Beobachtung die gleichzeitige Messung des Flankendurchmessers, der Steigung und des Flankenwinkels an Normalgewinden bis 40 mm Durchmesser und hat sich bei der erheblich gesteigerten Zahl der Gewindeprüfungen bewährt. Die Veröffentlichung des Apparates ist in Vorbereitung.

Ein zweites Gerät nach dem gleichen Grundgedanken für stärkere Gewinde bis 100 mm Durchmesser ist entworfen und seine Ausführung in der Hauptwerkstatt begonnen worden. Leider

[1]) Noddack, Tepohl.
[2]) Göpel, Blaschke, Werner.

Digitized by Google

ist seine im Interesse der Prüfungen dringliche Fertigstellung durch die anderweitige starke Inanspruchnahme der Werkstatt sehr erschwert.

Ein auf neuem Grundgedanken beruhender Apparat zur Messung von Gewindewinkeln ist gleichfalls im Entwurf fertiggestellt und in der Hauptwerkstatt in Arbeit genommen worden.

137. Stimmgabelprüfungen. Unter den zu prüfenden Stimmgabeln befanden sich wieder eine größere Anzahl Bronzegabeln von 50 Schwingungen/s für Siemens-Oszillographen. Ihre Schwingungszahl zeigte sich in nicht ganz zulässigen Grenzen abhängig von der Befestigungsart. Die Prüfung dieser Gabeln erfolgt deshalb jetzt grundsätzlich auf dem Unterbau, auf dem sie verwendet werden.

Da die absolute Bestimmung der Normalgabel für den Kammerton ($N = 435{,}200 \pm 0{,}005 - 0{,}047\,(t - 15^{0})$) vor 36 Jahren erfolgte und die Konstanz der Schwingungszahl bezweifelt werden könnte, ist eine Neubestimmung des Normals in Vorbereitung. Dieselbe soll auf Grund von Vorversuchen mit einem eigens dafür gebauten Apparat zunächst auf stroboskopischem Wege erfolgen. Änderungen der Normalgabel in einem die musikalische Grundlage berührenden Betrage sind indes auf Grund folgender Beobachtungen kaum zu befürchten. Für die Eichung der eingereichten Kammerton-Stimmgabeln wird nicht das oben erwähnte Urnormal verwendet, sondern zwei von diesem abgeleitete sogenannte Differenzgabeln von rd. 435 — 1,5 und 435 + 1,5 Schwingungen/s. Die letzteren werden von Zeit zu Zeit nach der Schwebungsmethode unter Zuhilfenahme elektrischer Registrierung an das Normal angeschlossen. Das größte Zeitintervall begrenzen zwei Anschlüsse aus den Jahren 1898 und 1923. Sie ergaben folgende Schwingungszahlen bei 15°:

	am 16. 7. 1898	am 27. 4. 1923
Für Differenzgabel 1	433,500	433,483
„ „ 2	436,520	436,520

Als Merkmal für die weitgehende Unveränderlichkeit der Normalgabel wie der Differenzgabeln kann die gute Übereinstimmung der beiden, 25 Jahre auseinanderliegenden Vergleichungen natürlich nur dann gelten, wenn man für unwahrscheinlich halten darf, daß sich die drei Gabeln genau um den gleichen Betrag geändert haben.

138. Zugfederprüfungen. Die im vorigen Bericht (S. 103) erwähnten Zugfederprüfungen sind zum Abschluß gekommen. Als Versuchsmaterial dienten je drei Zugfedern deutscher und ausländischer Fertigung von 1500 mm Länge und $18 \times 0{,}45$ mm² Querschnitt. Ermittelt wurden an den in passenden Federhäusern eingesetzten Federn

1. Größe und Änderung der Federkraft in den einzelnen Umgängen bei Aufzug und Ablauf,
2. Ermüdung der Federn,
3. Lebensdauer der Federn.

Zur Messung von 1 diente ein stählerner, auf das Aufzugsviereck des festgelagerten Federhauses aufgesetzter gleicharmiger Wagebalken von 500 mm Hebellänge mit Wägeschalen. Die Nullstellung wurde mittels einer auf dem Wagebalken befestigten Libelle von 1′ Empfindlichkeit kontrolliert.

Die Versuche zu 2 und 3 wurden auf einer älteren Hobelmaschine derart vorgenommen, daß immer zwei Vergleichsfedern verschiedener Herkunft um eine gemeinsame Achse drehbar angeordnet wurden und durch Auf- und Abwicklung eines dünnen Drahtseiles infolge der Tischbewegung der Hobelmaschine gespannt und entspannt wurden. Die Anzahl der Aufzüge wurde mit dem Hubzähler festgestellt. Die Ermüdung wurde durch Auswägungen nach 1. festgestellt: die Lebensdauer ergab sich aus der Anzahl der bis zum Bruch möglichen Aufzüge.

Die Versuchsergebnisse ließen eine ungleiche Bewertung beider Federarten mit genügender Sicherheit nicht zu. Sie zeigten nahezu gleichen Kraftverlauf in den einzelnen Umgängen, keine ausgesprochene Ermüdung und Verschiedenheit der Lebensdauer in fast gleichem Umfang. Bei zwei Federn verschiedener Herkunft erfolgte gleichzeitiger Bruch erst nach 1298 Aufzügen. In einer Uhr mit vierzehntägiger Gangzeit würden die Federn rd. 4 Jahre Lebensdauer gehabt haben. Über die Ausdehnung der Prüfungen auf umfangreicheres Versuchsmaterial sind sich die antragstellenden Firmen noch nicht schlüssig geworden.

139. Wärmeausdehnung verschiedener Stahlsorten für Endmaße. Die gesteigerten Ansprüche, welche an die Genauigkeit stählerner Maßkörper, insbesondere von Endmaßen, gestellt werden, ließen es als notwendig erscheinen, über die Wärmeausdehnung

Digitized by Google

der verwandten Stahlsorten in weichem und hartem Zustand sichere Kenntnis zu besitzen. Eine systematische Untersuchung, zu der eine größere Anzahl von Firmen in bereitwilliger Weise das Versuchsmaterial geliefert hatte, sollte die erforderliche Klarheit verschaffen. Von 21 Stahlsorten, die von 10 führenden Firmen zur Verfügung gestellt waren, wurde die thermische Ausdehnung zunächst in weichem Zustand im Temperaturintervall — 200° bis + 150° C ermittelt. Außerdem konnten zur Klärung der Frage die Ergebnisse von Ausdehnungsbestimmungen an 13 von einer oberschlesischen Hütte stammenden Spezialstählen herangezogen werden. In dem für Meßzwecke allein in Frage kommende Temperaturintervall von 0° bis + 20° C bewegt sich der mittlere Ausdehnungskoeffizient des weichen Stahles in den Grenzen zwischen 10,24 und $12{,}03 \cdot 10^{-6}$, der des gehärteten Stahles, vorläufig nur nach den Ergebnissen an den 13 Spezialstählen, zwischen 10, 98 und $12{,}98 \cdot 10^{-6}$. Bei der Temperatur der flüssigen Luft liegt der Ausdehnungskoeffizient bei den untersuchten Proben des weichen Stahles zwischen 5,78 und $6{,}79 \cdot 10^{-6}$. Die 21 Probestücke sollen nunmehr den Firmen zur Härtung in der dort üblichen Weise wieder zugestellt und darauf von neuen untersucht werden.

140. Untersuchung volumenbeständiger Stähle.

Die auf Antrag einer oberschlesischen Hütte in Angriff genommene Untersuchung über neue volumenbeständige Stähle ist zu Ende geführt worden. Insgesamt wurden an 13 Stahlsorten verschiedener Zusammensetzung, die in Form von zylindrischen Endmaßen von 50 mm Länge vorlagen, zunächst der Einfluß der Härtung und dann der einer nachfolgenden 10stündigen Temperung im Palminbad bei + 150° C ermittelt. Sämtliche Stahlkörper haben durch die Härtung eine Verlängerung erfahren, die sich zwischen 0,02 und 0,12 mm bewegt. Es muß also in allen Fällen der Widerstand gegen Querkontraktion geringer sein als der gegen Längskontraktion. Die Längenänderungen durch 10-stündiges Tempern erwiesen sich als sehr gering, so daß auch nach den Ergebnissen der spezifischen Gewichtsbestimmungen in weichem und hartem Zustand, bei einer größeren Anzahl der Stahlproben von einer bemerkenswerten Volumenbeständigkeit gesprochen werden kann.

Werkstatt[1]).

141. Allgemeines.

Im Berichtsjahr blieb die Organisation der Werkstatt bis zu der gegen Jahresende erfolgten Verschmelzung mit der *Reichsanstalt für Maß und Gewicht* unverändert. Zwei besonders bewährte Techniker schieden am 1. Dezember wegen Erreichung der Altersgrenze aus.

142. Stempelungen.

Die Inanspruchnahme durch Stempelungsarbeiten an Stimmgabeln, Hefnerlampen, Normalelementen, magnetischen Materialien usw. waren etwas geringer als im Vorjahre.

143. Herstellung von Apparaten usw.

An größeren Arbeiten wurden u. a. vollendet:

40 stählerne Stimmgabeln,
2 Tourenregler für Elektromotoren,
1 Galvanometer nach Nernst,
2 Galtonpfeifen,
1 Vakuumapparat für thermometrische Arbeiten,
1 Temperiergefäß für Wägungen,
1 Gebläse,
1 Kugelsupport für Kugeln von 40 cm Durchmesser,
2 Aluminiumkugeln von 40 cm Durchmesser,
1 Prüfapparat für Hämacytometer;

ferner mehrere Kupplungen, Torsionsstäbe aus gehärtetem Stahl, Änderungen an Apparaten zur Messung der durchdringenden Strahlung, eine Vorrichtung zum Ausschleifen von Schneiden unter bestimmten Winkeln, ein Prisma, eine Führungsschiene von 1 m Länge, ein Abricht-Lineal.

Daneben waren Reparaturen und Hilfsarbeiten für andere Werkstätten in besonders großer Zahl zu erledigen. Die Klempnerei und die Tischlerei waren teilweise über die Leistungsfähigkeit in Anspruch genommen.

---

[1]) Göpel, von Anfang Dezember ab Block.

Digitized by Google

Anhang 1.

Veröffentlichungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Allgemeines.

1. Bericht über die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1922. *Zeitschr. f. Instrkde* ***43.*** *S. 61. 1923.*
2. Wissenschaftliche Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Bd. VI. Heft 2. 4°. 152 Seiten. Band VII, Heft 1, 4°. 275 Seiten. Berlin, Julius Springer, 1923.
3. Bekanntmachungen über Prüfungen und Beglaubigungen durch die Elektrischen Prüfämter Nr. 157 bis 171. *Reichsministerialblatt* ***51.*** *S. 1, 149, 201, 273, 345, 724, 725, 924, 929, 973, 974, 991, 1098, 2014. 1923. Elektrotechn. Zeitschr.* ***44.*** *S. 129, 178, 242, 338, 412, 549, 814, 933, 963, 1036, 1078. 1923.*
4. Mitteilungen der Reichsanstalt für Maß und Gewicht, Jahrg. 1923; seit 1. 10. 23 erschienen: Nr. 6 und 7. Berlin, Julius Springer, 1923.
5. Neudruck der Eichordnung für das Deutsche Reich mit Berücksichtigung der von der Reichsanstalt für Maß und Gewicht bis zum 24. September 1923 erlassenen Änderungen und Ergänzungen. Berlin SW. 61, Verlag Deutsches Reichsgesetzbuch für Industrie. Handel und Gewerbe, 1923.

Abteilung I.

Amtliche Veröffentlichungen.

Vgl. Allgemeines unter 4. In den „Mitteilungen“ sind auch die amtlichen im Reichsgesetzblatt und im Deutschen Reichsanzeiger veröffentlichten Bestimmungen abgedruckt.

Private Veröffentlichungen.

6. Bein, Mitarbeit an der 5. Auflage von Landolt-Börnstein, Physikal.-Chemische Tabellen, 1923.
7. Block, Über die Vereinheitlichung von Aräometern, *Zeitschr. f. angew. Chem.* ***37.*** *S. 11. 1923.*
8. Block, Handbuch der technischen Meßgeräte. Herausgegeben im Auftrage des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung beim Verein deutscher Ingenieure. 392 S. Berlin 1923.

Abteilung II.

Amtliche Veröffentlichungen.

9. Alberti u. Leithäuser, Eine neue Indikatormethode zur Wellenlängenmessung am Empfänger und ihre Anwendung zur Bestimmung der Betriebswellenlänge einiger Radiostationen. *Elektrotechn. Zeitschr.* ***44.*** *S. 1027. 1923.*
10. Alberti u. Zickner, Leistung und Wellenlänge des Röhrensenders mit innerer Rückkoppelung. *Arch. f. Elektrotechn.* ***13.*** *S. 1. 1924.*
11. Behnken, Die Vereinheitlichung der Röntgenstrahlen-Dosismessung und die Eichung von Dosismessern. *Zeitschr. f. techn. Phys.* ***5.*** *S. 3. 1924.*
12. Burmester, Die Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten keramischer Massen. *Arch. f. Elektrotechn.* ***13.*** *1924.*
13. Dieterle, Der Einfluß der Unterlage bei der Messung des Oberflächenwiderstandes von Isolierplatten. *Elektrotechn. Zeitschr.* ***45.*** *1924.*
14. Engelhardt, Über ein Braunsches Rohr, welches sekundäre Kathodenstrahlen benutzt *Physikal. Zeitschr.* ***24.*** *S. 239. 1923.*
15. Grüneisen u. Goens, Schallgeschwindigkeit in Stickstofftetraoxyd; eine untere Grenze seiner Dissoziationsgeschwindigkeit. *Ann. d. Phys.* ***72.*** *S. 193. 1923.*
16. Grüneisen u. Goens, Messungen an Kristallen aus Zink und Kadmium. *Physikal. Zeitschr.* ***24.*** *S. 506. 1923.*
17. Günther-Schulze, Die Dissoziation der Chloride zweiwertiger Metalle in wäßriger Lösung. *Zeitschr. f. Elektrochem.* ***28.*** *S. 387. 1922.*
18. Günther-Schulze, Die Größe des Kathodenfleckes des Kohlelichtbogens. *Zeitschr. f. Phys.* ***11.*** *S. 71. 1922.*


Digitized by Google

19. **Günther-Schulze**, Die Vorgänge an der Kathode des Quecksilbervakuumlichtbogens. *Zeitschr. f. Phys.* **11.** *S. 74. 1922.*

20. **Günther-Schulze**, Dissoziation, Temperatur und Dampfdruck im Quecksilberlichtbogen. *Zeitschr. f. Phys.* **11.** *S. 260. 1923.*

21. **Günther-Schulze**, Die Zündspannung der Quecksilbergleichrichter. *Arch. f. Elektrotechn.* **12.** *S. 121. 1923.*

22. **Günther-Schulze**, Die Anode des Quecksilberlichtbogens. *Zeitschr. f. Phys.* **13.** *S. 378. 1923.*

23. **Günther-Schulze**, Die Energieverteilung an der Kathode der Glimmentladung. *Zeitschr. f. Phys.* **15.** *S. 8. 1923.*

24. **Günther-Schulze**, Kathodenfall und Glimmstromstärke in Quecksilberdampf. *Zeitschr. f. Phys.* **15.** *S. 244. 1923.*

25. **Günther-Schulze**, Der Lichtbogen in Gemischen von Quecksilberdampf und anderen Gasen. *Zeitschr. f. Phys.* **15.** *S. 254. 1923.*

26. **Günther-Schulze**, Der normale Kathodenfall an Graphit in Gasgemischen. *Zeitschr. f. Elektrochem.* **29.** *S. 370. 1923.*

27. **Günther-Schulze**, Die Stromdichte des normalen Kathodenfalles. *Zeitschr. f. Phys.* **19.** *S. 313. 1923.*

28. **Günther-Schulze**, Die Gesetze der Glimmentladung. *Zeitschr. f. Phys.* **20.** *S. 1. 1923.*

29. **Gumlich**, Über eine einfache Methode zur Bestimmung des Hystereseverlustes von Eisenproben und über einige magnetische Erfahrungsregeln. *Elektrotechn. Zeitschr.* **44.** *S. 81. 1923.*

30. **Gumlich**, Ein neues Material für permanente Magnete. *Zeitschr. f. Phys.* **14.** *S. 241. 1923. Elektrotechn. Zeitschr.* **44.** *S. 147. 1923.*

31. **Jaeger u. v. Steinwehr**, Erwiderung auf die Mitteilung von E. Cohen und A. L. Th. Moesveld: Die Metastabilität des „Internationalen Weston-Elements" und dessen Unbrauchbarkeit als Spannungsnormale. II. *Zeitschr. f. physikal. Chem.* **105.** *S. 204. 1923.*

32. **Meissner**, Der Einfluß von Anfangsdruck und Vorkühltemperatur bei der Verflüssigung des Wasserstoffs. *Zeitschr. f. Phys.* **18.** *S. 12. 1923.*

33. **Scheld**, Über Blindleistungs- und Blindverbrauchsmessungen. *Arch. f. Elektrotechn.* **13.** *S. 49. 1924.*

34. **Schering**, Taster zur Widerstandsmessung von Maschinen und Kabeln in der Thomsonbrücke *Elektrotechn. Zeitschr.* **44.** *S. 11. 1923.*

35. **Schering**, Eine zweckmäßige Skale für Drehkondensatoren. *Elektrotechn. Zeitschr.* **44.** *S. 980. 1923.*

36. **Schering u. Reichardt**, Ein Empfindlichkeitsregler für Nullinstrumente. *Arch. f. Elektrotechn. 1924.*

37. **Schering u. Schmidt**, Der Winkelfehler bei Induktionszählern. *Arch. f. Elektrotechn. 1924.*

38. **Schröter**, Eisenverluste durch gleichzeitige Magnetisierung bei zwei verschiedenen Frequenzen. *Arch. f. Elektrotechn. 1924.*

39. **Schröter u. V. Vieweg**, Über die Verwendung der Glimmlampe zu Drehzahl- und Schlüpfungsmessungen. *Arch. f. Elektrotechn.* **12.** *S. 358. 1923.*

40. **Schulze**, Über das Verhalten der Kadmiumamalgame in Beziehung zum Westonschen Normalelement. *Zeitschr. f. physikal. Chem.* **105.** *S. 177. 1923.*

41. **V. Vieweg**, Optische Meßgeräte zur Bestimmung der Dicke der Ölschicht in Lagern unter Berücksichtigung der Anwendung auf Schmiermittel. *Petroleum* **18.** *S. 1405. 1922.*

42. **V. Vieweg u. R. Vieweg**, Über die Trennung von Luft- und Lagerreibung. *Maschinenbau (Betrieb)* **6.** *S. 143. 1923* und *Arch. f. Elektrotechn. 1924.*

Private Veröffentlichungen.

43. **Behnken**, Mitarbeit an der 5. Auflage von Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen. 1923.



44. **Behnken**, W. C. Röntgen †. *Zeitschr. d. Ver. d. Ingen.* **67.** *S. 218. 1923.*

45. **Behnken**, Über die Vereinheitlichung der Röntgendosismessung. *Zeitschr. f. Röntgenologie* **3.** *S. 295. 1923.*

46. **Behnken**, Sobre el contraste unificado de la dosificación roentgenológica. *Revista de Radiologia* **10.** *S. 1 und 56. 1923.*

47. **Behnken**, Die Vereinheitlichung der Röntgenstrahlendosismessung. (Auszug aus einem Vortrage auf dem Bonner Physikertag.) *Physikal. Zeitschr.* **24.** *S. 474. 1923.*

48. **Behnken, Jaeckel u. Kutzner**, Der Geigersche Spitzenzähler als hochempfindliches Reagens auf Röntgenstrahlen. *Zeitschr. f. Phys.* **20.** *S. 188. 1923.*

49. **Engelhardt**, Albert Einstein. *Chemiker-Zeitung* **46.** *S. 1110. 1922.*

50. **Günther-Schulze**, Elektrische Ventile und Gleichrichter. *Die Naturwissenschaften* **12.** *S. 47. 1924.*

51. **Günther-Schulze**, Kathodenfall, Ionisierungsspannung und Atomgewicht. *Zeitschr. f. Phys.* **20.** *S. 153. 1923.*

52. **Gumlich**, Mitarbeit an der 5. Auflage von Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen, 1923.

53. **Gumlich**, Nachruf für **Ernst Hagen**. *Physikal. Zeitschr.* **24.** *S. 145. 1923.*

54. **Schmidt**, Ein neuer Drehfeldrichtungsanzeiger. *AEG-Mitteilungen 1923. S. 239.*

55. **Schröter**, Reinigung und Durchschlagsfestigkeit von Transformatorenöl. *Arch. f. Elektrotechn.* **12.** *S. 67. 1923.*

56. **Schulze**, Mitarbeit an **Guertlers** Handbuch der Metallographie: Die elektrische Leitfähigkeit der Metalle.

57. **Schulze** (mit **Guertler**), Die elektrische Leitfähigkeit einiger Gold-Eisen-Legierungen (als Beispiel für das elektrische Verhalten begrenzter Mischkristallreihen). *Zeitschr. f. physikal. Chem.* **104.** *S. 90. 1923.*

58. **Schulze** (mit **Guertler**), Die elektrische Leitfähigkeit und die chemische Konstitution der Legierungen I. Das System Blei-Thallium. *Zeitschr. f. physikal. Chem.* **104.** *S. 269. 1923.*

59. **Schulze** (mit **Guertler**), Die elektrische Leitfähigkeit und die chemische Konstitution der Legierungen II. Das System Wismut-Thallium. *Zeitschr. f. physikal. Chem.* **106.** *S. 1. 1923.*

60. **v. Steinwehr**, Mitarbeit an der 5. Auflage von Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen. 1923.

61. **V. Vieweg**, Bericht über die Öl- und Lagerversuche im Maschinenlaboratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. *Maschinenbau (Betrieb)* **5.** *S. 131. 1922/23.*

62. **V. Vieweg**, Über Öl- und Lagerversuche im Maschinenlaboratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. *Glasers Annalen* **93.** *S. 111. 1923.*

63. **V. Vieweg**, Ein neues Verfahren zur Bewertung von Lagerschmiermitteln. *Leipziger Mustermesse und Technische Messe* **7.** *Nr. 8. 1923.*

64. **V. Vieweg**, Über ein neues physikalisches Verfahren zur Bestimmung der Bewegung einer Welle im Lager. *Arch. f. Elektrotechn.* **12.** *S. 376. 1923.*

65. **V. Vieweg**, Elektrotechnik. 2. neubearbeitete und erweiterte Auflage der „Elektromechanik und Elektrotechnik" von Grünbaum. 8°. 214 S. Leipzig, Verlag Georg Thieme, 1924.

66. **Warburg**, Über die Bildung von Jodwasserstoff durch stille Entladungen. *Zeitschr. f. Phys.* **22.** *1924.*

67. **Warburg**, Über die Natur und Messung der durch Siemenssche Ozonröhren fließenden Wechselströme. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **4.** *S. 450. 1923.*

Abteilung III.

Amtliche Veröffentlichungen.

68. **Ebert**, Über die Sauggeschwindigkeit einiger Hochvakuumpumpen. *Zeitschr. f. Phys.* **19.** *S. 206. 1923.*

69. **Henning u. Heuse**, Strahlungsmessungen an Platin und Wolfram. *Zeitschr. f. Phys.* **16.** *S. 63. 1923.*


Digitized by Google

70. **Henning u. Heuse**, Über einige Strahlungseigenschaften von Aluminium- und Magnesiumoxyd. *Zeitschr. f. Phys.* **20.** *S. 132. 1923.*

71. **Hoffmann**, Über den Gebrauch von Rauchgläsern bei optisch-pyrometrischen Messungen. *Zeitschr. f. Physik* **17.** *S. 1. 1923.*

72. **Holborn**, Die Druckwage, das Normalinstrument für hohe Drucke. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **67.** *S. 8. 1923.*

73. **Holborn u. Otto**, Über die Isothermen von Stickstoff, Sauerstoff und Helium. *Zeitschr. f. Physik* **10.** *S. 367. 1922.*

74. **Jakob**, Die spezifische Wärme der Luft im Mittel von 0 bis 200 at und von —80 bis 250°. *Zeitschr. f. techn. Physik* **4.** *S. 460. 1923.*

Private Veröffentlichungen.

75. **Ebert**, Über Prüfung der Fieberthermometer nach amerikanischem Gesetz. *Glas und Apparat 1923. S. 89.*

76. **Ebert**, Über Hochvakuumpumpen. *Glas und Apparat 1923. S. 186.*

77. **Henning**, Erzeugung und Messung tiefer Temperaturen. Ergebnisse der Naturwissenschaften. Bd. II. 1923. Berlin, Julius Springer.

78. **Henning**, Mitarbeit an der 5. Auflage von Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen, 1923.

79. **Holborn**, Mitarbeit an der 5. Auflage von Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen, 1923.

80. **Jakob**, Mitarbeit an der 5. Auflage von Landolt-Börnstein. Physikalisch-Chemische Tabellen, 1923.

81. **Jakob**, Gefüge und Wärmeleitvermögen feuerfester Steine. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **67.** *S. 126. 1923.*

82. **Jakob**, Neue Wärmediagramme für Ammoniak und Kohlensäure. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **67.** *S. 349. 1923.*

83. **Jakob**, Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1922. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **67.** *S. 549. 1923.*

84. **Jakob**, Die Wärmeübertragung durch keramische Stoffe. In: Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft. Herausgegeben von Felix Singer. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn A.-G., 1923. S. 435.

85. **Scheel**, Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten und der spezifischen Wärme, thermischer Widerstandskoeffizient. In: Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft Herausgegeben von Felix Singer. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn A.-G., 1923. S. 425.

86. **Scheel (mit Roth)**, Herausgabe der 5. Auflage von Landolt-Börnstein, Physikalisch Chemische Tabellen. XVI und 1695 S. Berlin, Julius Springer, 1923.

87. **Scheel (mit Roth)**, Konstanten der Atomphysik. 114 S. Berlin, Julius Springer, 1923.

Abteilung IV.

Amtliche Veröffentlichungen.

88. **Gehrcke**, Die Gitteraufstellung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. *Zeitschr. f. Instrkde.* **43.** *S. 277. 1923.*

89. **Gehrcke**, Bemerkung über Gruppenspektra. *Physikal. Zeitschr.* **23.** *S. 432. 1923.*

90. **Gehrcke u. Lau**, Versuche über das Sehen von Bewegungen. *Zeitschr. f. psycholog. Forschung* **3.** *S. 1. 1923.*

91. **Gehrcke u. Lau**, Das Vielllinienspektrum des Wasserstoffs. II. Mitteilung. Mit einem Zusatz über das kontinuierliche Spektrum. Berliner Akademieberichte. 1923. S. 242.

92. **Janicki u. Lau**, Über den Einfluß metallischer Oberflächen auf die Spektren von Hg, Cd, He und O. *Ann. d. Phys.* **71.** *S. 562. 1923.*

93. **Liebenthal**, Über die Abhängigkeit der Hefnerlampe vom Luftdruck. *Zeitschr. f. Instrkde.* **43.** *S. 209. 1923.*


Digitized by Google

Private Veröffentlichungen.

94. Gehrcke, Die Spektren des Wasserstoffs und die neuere Atomtheorie. *Ztschr. f. techn. Phys.* ***4.*** *S. 194. 1923.*
95. Gehrcke, Die Ablenkung des Fixsternlichts durch die Sonne. *Astron. Nachr.* ***219.*** *Nr. 5248. S. 266. 1923. Univerzum (Agram) 1923.*
96. Gehrcke, Die Gegensätze zwischen der Äthertheorie und Relativitätstheorie und ihre experimentelle Prüfung. *Zeitschr. f. techn. Phys.* ***4.*** *S. 292. 1923.*
97. Gehrcke, Bemerkung über den „Sama-Zustand". *Zeitschr. f. Phys.* ***19.*** *S. 67. 1923.*
98. Gehrcke, Mitarbeit an der 5. Auflage von Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen. 1923.
99. Lau, Die Berliner Jugend und ihr Beruf. Eine kultur- und sozial-psychologische Untersuchung auf experimenteller Grundlage. 48 S. Berlin, Heymann, 1923.
100. Lau, Über eine Verbesserung der Lummer-Gehrcke-Platte für Interferenzspektroskope. *Zeitschr. f. Instrkde.* ***43.*** *S. 311. 1923.*
101. Schönrock, Mitarbeit an der 5. Auflage von Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen, 1923.

Laboratorium für Radioaktivität.

Amtliche Veröffentlichungen.

102. Bothe, Über die Zerstreuung der β-Strahlen. *Zeitschr. f. Phys.* ***13.*** *S. 368. 1923.*
103. Bothe, Eichmethoden für Emanationselektrometer. *Zeitschr. f. Phys.* ***16.*** *S. 266. 1923.*
104. Bothe, Über eine neue Sekundärstrahlung der Röntgenstrahlen. I. Mitteilung. *Zeitschr. f. Phys.* ***16.*** *S. 319. 1923.*
105. Bothe. Zur Quantentheorie des normalen Photoeffekts. *Zeitschr. f. Phys.* ***17.*** *S. 137. 1923.*
106. Bothe, Über eine neue Sekundärstrahlung der Röntgenstrahlen. II. Mitteilung. *Zeitschr. f. Phys.* ***20.*** *S. 237. 1923.*
107. Geiger u. Werner, Die Zahl der von Radium ausgesandten α-Teilchen. I. Teil: Scintillationszählungen. *Zeitschr. f. Phys.* ***21.*** *S. 187. 1923.*
108. Kolhörster, Intensitäts- und Richtungsmessungen der durchdringenden Strahlung. *Berliner Akademieberichte 1924. S. 366.*

Private Veröffentlichungen.

109. Bothe, Durchgang korpuskularer Strahlen durch Materie und Konstruktion der Atome. *Jahrb. der Radioakt. u. Elektron.* ***20.*** *S. 46. 1923.*
110. Bothe, Zur Frage der Feinstruktur der Balmerlinien. *Die Naturwissenschaften.* ***11.*** *S. 45. 1923.*
111. Bothe, Elektronenrückstoß bei der Zerstreuung der Röntgenstrahlen und Lichtquantenhypothese. *Die Naturwissenschaften* ***11.*** *S. 965. 1923.*
112. Bothe, Die räumliche Energieverteilung in der Hohlraumstrahlung. *Zeitschr. f. Phys.* ***20.*** *S. 145. 1923.*

Chemisches Laboratorium.

Amtliche Veröffentlichungen.

113. Mylius, Die chemische Prüfung des Glases. *Sprechsaal, Glastechn. Ber.* ***1.*** *Heft 2. 1923.*
114. Nernst u. Noddack, Zur Theorie photochemischer Vorgänge. *Berliner Akademieberichte 1923. S. 110.*
115. Noddack (mit Eggert), Zur Prüfung des photochemischen Äquivalentgesetzes an Trockenplatten. *Berliner Akademieberichte 1923. S. 116* und *Zeitschr. f. Phys.* ***20.*** *S. 299. 1923.*
116. Noddack (mit Eggert), Über die Gültigkeit des Äquivalentgesetzes an Trockenplatten. *Berliner Akademieberichte 1923.*
117. Tepohl, Über die Fleckenempfindlichkeit optischer Gläser. *Sprechsaal, Glastechn. Ber.* ***1.*** *Heft 5. 1923.*


Digitized by Google

Anhang 2.

Personalverzeichnis der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

(Stand am 1. Februar 1924.)

Präsident: Prof. Dr. Nernst, Geh. Reg.-Rat.

Leiter des Verwaltungsdienstes: Regierungsrat Zimmermann.

Zentral-Büro, Kasse und Kanzlei:

Bürovorsteher: Barowsky, Rechnungsrat. Regierungsinspektor Kiel, Rendant; Ober-Regierungssekretäre Fengler, Kyburg, Fernkorn, Gerber, Wolter, Brandt; Bürodiätare Berndt und Müller; Kanzleisekretäre Pott und Schobrick; Kanzleihilfsarbeiter Thomas; kommissarisch in der Kanzlei beschäftigt: Amtsgehilfe Schönwald; Fernsprechgehilfin Becker.
Laboratoriumsgehilfe Treder I; Amtsobergehilfe Hilmer; außerplanmäßige Amtsgehilfen Leipner, Neumann.

Abteilung I (Maß und Gewicht).

Mit der Leitung beauftragt: Ober-Reg.-Rat und Mitglied Dr. Meyer, Geh. Reg.-Rat.

1. *Unterabteilung Ia* (Allgemeine Angelegenheiten des Maß- und Gewichtswesens):
   Ober-Regierungsrat Meyer; Regierungsrat Dr. Drewitz (s. 6); Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Blum (s. 6).

2. *Unterabteilung Ib* (Allgemeine Vorschriften der Eichordnung und Instruktion):
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Dr. Stadthagen, Geh. Reg.-Rat; Regierungsrat Dr. Roerdansz (s. 7).

3. *Laboratorium Ic* (Längenmaße):
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Dr. Kösters; Regierungsräte Dr. Langbein, Dr. Thomas (s. 9), Kreuter, Dr. Kornatz, Dr. Lampe; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Hoffmann; Techniker Schröter.

4. *Laboratorium Id* (Feinmechanik und Akustik):
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Göpel, Regierungsräte Dr. Lanzrath, Dr. Block, Dr. Werner, Dr. Conrat; Technischer Sekretär Zander; Hilfstechniker Neumann.

5. *Laboratorium Ie* (Feine Wägungen und Gewichtseichung):
   Regierungsräte Dr. Schultze, Dr. Wölfer, Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dr. Lenk, Techniker Otto.

6. *Laboratorium If* (Eichpflichtige Waagen):
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Dr. Felgentraeger; Regierungsrat und Mitglied Dr. Schönherr; Regierungsrat Dr. Drewitz (s. 1); Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Blum (s. 1); Laboratoriumsgehilfe Ducat.

7. *Laboratorium Ig* (Aräometrie u. Glasgeräte für wissenschaftliche u. technische Untersuchungen):
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Dr. Bein; Regierungsräte Dr. Hartmann, Dr. Roerdansz (s. 2); Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dr. Zipler.

8. *Laboratorium Ih* (Gas- und Wassermessereichung sowie Hohlmaßeichung):
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Zingler; Regierungsrat und Mitglied Weymann, Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dziobek; Techniker E. Hameyer.

9. *Werkstatt:*
   Regierungsrat Dr. Thomas (s. 3); Techniker E. Hameyer, Otto, Schröter; Techniker (Angestellter) Feyerabend.

Leitung des allgemeinen Verwaltungsdienstes: Ober-Regierungsrat Dr. Meyer (s. 1).
Leiter des Kassendienstes: Ober-Regierungsrat Dr. Stadthagen (s. 2).


Digitized by Google

Büro, Kasse und Kanzlei:

Regierungsinspektoren Wilke, Kassenvorsteher; Kregelin, Koch; Ober-Regierungssekretär Brückner; vorübergehend beschäftigte Bürohilfsarbeiter: Hasselmann, Gründel; Kanzleisekretäre: Bensch, Suppe; Kanzleidiätar: Schirrmacher.

Laboratoriumsgehilfe Ducat (s. 6); Amtsobergehilfen Plötz, Härchen; Kastellan Holz; Amtsgehilfe Kipke; Hilfsamtsgehilfe Brückner; Laboratoriumsarbeiter Liebich, Engel; Heizer Rudolph.

Abteilung II (Elektrizität und Magnetismus).

Direktor: Prof. Dr. Grüneisen, Geh. Reg.-Rat.

Laboratorium des Direktors:

Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dr. Goens; Techniker Kügler.

Unterabteilung IIa:

Leiter: Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Jaeger, Geh. Reg.-Rat.

1. *Laboratorium für physikalische Forschungsarbeiten:*
   Regierungsrat Dr. Meißner.
2. *Laboratorium für elektrochemische Untersuchungen:*
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Günther-Schulze; außerplanmäßiger Techniker Knackfuß.

Unterabteilung IIb:

Leiter: Direktor Grüneisen.

1. *Laboratorium für Grundeinheiten:*
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. von Steinwehr; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dr. A. Schulze; Technischer Sekretär Keßner; Techniker Gutmann.
2. *Laboratorium für Wechselstromnormalien und Hochfrequenz:*
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Giebe; Regierungsrat Dr. Alberti; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dr. Zickner; Techniker Schuster und Schüler.
3. *Gleichstrom-Laboratorium mit Referat für das elektrische Prüfwesen:*
   Regierungsräte Dr. Schmidt, Dr. Scheld; Technische Sekretäre Noack, Müller; Techniker Vietzke, Tesch; außerplanmäßiger Techniker Schlegel.
4. *Wechselstrom-Laboratorium:*
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Schering; Regierungsräte Reichardt, Dr. Behnken, Dr. Engelhardt; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dr. Burmester; Techniker Elbel, Bernhard, Röder, Kluge; außerplanmäßiger Techniker E. Müller.
5. *Maschinen-Laboratorium:*
   Regierungsrat Dipl.-Ing. Vieweg; Wissenschaftliche Hilfsarbeiter Dr. R. Vieweg, Dr.-Ing. Schröter; Techniker Filko, Glase; Laboratoriumsarbeiter Kühnast.
6. *Magnetisches Laboratorium:*
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Gumlich, Geh. Reg.-Rat; Regierungsrat Dr. Steinhaus; Technischer Obersekretär E. Schön; Techniker Steinhagen, Licht, Sergel; Laboratoriumsarbeiter Welzel.
7. *Verwaltung der Betriebsmittel:*
   Dr. Behnken (s. 4) a) bis c); Dr. Schmidt (s. 3) d);

   a) *Material:* Technischer Sekretär Busch; Techniker Metzner.

   b) *Werkstatt:* Technischer Sekretär Lienemann; Techniker Ullbrich, Melzow, Ranacher.

   c) *Maschinen:* Techniker Tismer; Technischer Angestellter auf Probe Hille; Heizer Technischer Gehilfe Schäffer; Hilfsheizer Repnow, E. Metzner.

   d) *Bibliothek:* Technischer Sekretär Noack (s. 3).


Digitized by Google

Büro und Kanzlei:

Regierungsinspektor Tappert; Ober-Regierungssekretär Warnecke; Kanzleisekretäre Hoffmann, Kolms; Stenotypistin Dunkelberg.

Kastellan Klawitter; Laboratoriumsgehilfe Mai; Amtsgehilfe Treder II; Laboratoriumsarbeiter Bauer; außerplanmäßiger Amtsgehilfe Neumann (s. Zentralbüro).

Abteilung III (Wärme und Druck).

Direktor: Prof. Dr. Holborn, Geh. Reg.-Rat.

Unterabteilung IIIa:

Leiter: Direktor Holborn.

1. *Laboratorium des Direktors:*

Direktor Holborn; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dr. Otto; Technischer Sekretär Krause.

2. *Laboratorium für die Grundlagen der Wärmemessung:*

Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Henning; Regierungsrat und Mitglied Dr. Heuse; Techniker Helmbrecht.

3. *Wärmetechnisches Laboratorium:*

Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr.-Ing. Jakob, Maschinen-Ingenieur; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dipl.-Ing. Erk; Maschinenmeister Bobsin; Techniker Diemke, Techniker (Angestellter) Wacker; außerplanmäßiger Techniker Räther. Laboratoriumsarbeiter Mielke.

Unterabteilung IIIb:

Leiter: Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Scheel, Geh. Reg.-Rat.

1. *Laboratorium des Leiters* (Normal- und elektrische Thermometrie, Ausdehnungsmessungen, Kalorimetrie, Druckmessungen):

Ober-Regierungsrat Scheel; Regierungsrat Dr. Moeller; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dr. Ebert; Wissenschaftlicher Angestellter Dr. Blankenstein; Technischer Ober-Sekretär Koch; Technischer Sekretär Kühnemund; Techniker Schrickel, Lips, Max Schulze; Amtsgehilfe Burow; Technischer Gehilfe Gutowski.

2. *Laboratorium für Ausdehnungsthermometrie:*

Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Grützmacher; Regierungsrat Dr. Moeller (s. 1); Wissenschaftlicher Angestellter Dr. Blankenstein (s. 1); Technischer Sekretär Knackfuß; Techniker Roth, Geyer, Sperling, Jahn, Schellhorn, Lange, Brändle, Langenberg; außerplanmäßiger Techniker Lautsch; Techniker (Angestellter) Lewandowski.

3. *Laboratorium für Strahlungsthermometrie:*

Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Hoffmann; Technische Sekretäre Nerrlich, Zeidler.

4. *Laboratorium für Erdölapparate:*

Ober-Regierungsrat Hoffmann (s. 3); Technischer Sekretär Zentgraf.

5. *Laboratorium für Fieberthermometer:*

Ober-Regierungsrat Scheel (s. 1); Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dr. Ebert (s. 1): Techniker Schöltzel; Laboranten Salewski, Pörschke; Laborantinnen Klitzing, Barz, Musick, Thurn, Klingner, Klink, Friederichs, Schulz, Kühnemund, Gutmann, Noffke, Gröpler, Most, Harms, Fischer, Brune, Nachtigall, Lindhorst, Koltermann, Scheffler, Strodthoff.

Büro und Kanzlei III.

Bürodiätar Meier; Kanzleiassistent Klingner; Stenotypistin Hintze.

Abteilung IV (Optik).

Direktor: Prof. Dr. Brodhun, Geh. Reg.-Rat.

Digitized by Google

Unterabteilung IVa:

Leiter: Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Gehrcke.

1. *Optisches Forschungslaboratorium:*
   Ober-Regierungsrat Gehrcke; Regierungsrat Dr. Janicki; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dr. Lau; freiwilliger Mitarbeiter cand. phil. Leo; Technischer Sekretär Lutzmann; Techniker Triloff.

2. *Strahlungslaboratorium:*
   Regierungsrat Dr. Müller; außerplanmäßiger Techniker Stenzel.

Unterabteilung IVb:

Leiter: Direktor Brodhun.

1. *Laboratorium für angewandte Optik:*
   Regierungsrat Dr. Wetthauer; Technischer Obersekretär W. Schön; Techniker Dahlmann.

2. *Laboratorium für Photometrie:*
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Liebenthal, Geh. Reg.-Rat; Technischer Sekretär Pawelczyk; außerplanmäßige Techniker Barthell, Schmidt, Heyder.

3. *Laboratorium für Polarimetrie:*
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Schönrock; außerplanmäßiger Techniker Segeletz.

Büro und Kanzlei IV:

Kanzleisekretär Meyer; Laboratoriumsarbeiter Schäffer.

Dem Präsidenten direkt unterstellt:

1. *Laboratorium für Radioaktivität:*
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Geiger; Regierungsrat Dr. Bothe; freiwilliger Mitarbeiter Studienrat Dr. Kolhörster; Technischer Sekretär Schultz; Techniker Görke; außerplanmäßiger Techniker Schroeter.

2. *Chemisches Laboratorium:*
   Regierungsrat und Mitglied Dr. Fischer; Regierungsrat Dr. Noddack; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter Dr. Tepohl; Technischer Sekretär Lenz; Amtsgehilfe Falk; Hilfslaboratoriumsdiener Welzel (s. auch Abt. IIb).

3. *Werkstatt:*
   Regierungsrat Dr. Block; Technische Sekretäre Genz, Seydel, Kuhfahl; Techniker Schär, W. Hameyer, Ehmke, Liebers; außerplanmäßige Techniker Hohnhorst, Apwisch, Moldenhauer; Techniker (Angestellte) Mauer, Türpe, Engel.

4. *Hauptbibliothek:*
   Regierungsrat Dr. Heuse (s. Abt. IIIa).

5. *Zur Unterhaltung des Dienstgartens:*
   Gärtner Lüdde und Czarnitzki.

6. *Zur Bewachung des Dienstgrundstücks:*
   Wächter Dorn.

Bücherbesprechungen.

H. G. Möller, Die Elektronenröhren und ihre technischen Anwendungen. Mit einem Geleitwort von Dr. Max Wien. Tagesfragen aus den Geb. d. Naturwissensch. u. d. Techn. Heft 49. 2. Aufl. 8°. IV, 200 S. m. 208 Textabb. und 1 Tafel. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1922.

Seit dem Erscheinen der ersten Auflage vor 2 Jahren ist das Möllersche Werk ohne deutsche Konkurrenz geblieben und ist daher noch immer schlechtweg das Lehrbuch für alle, welche


Digitized by Google

sich mit dem Studium der Vakuumröhre befassen. Der Umfang ist nicht unbeträchtlich vergrößert worden (von 162 auf 200 Seiten). Die Einteilung wurde aus der ersten Auflage übernommen. Sie behandelt in vier großen Abschnitten die physikalischen Vorgänge in der Röhre, den Verstärker, den Röhrensender und das Audion, eine Gliederung, die sich aus den drei Anwendungsgebieten der Röhre von selbt ergibt. In diesen Abschnitten kommen die teils vom Verfasser, teils von anderen (Schottky, Rukop, Barkhausen) während des Krieges entwickelten und später ausgebauten und vervollkommneten Theorien, die in ihrer heutigen Form fast überall eine quantitative Berechnung der in Frage kommenden Vorgänge ermöglichen, in einer eingehenden und wissenschaftlich exakten Form zur Darstellung. Neben der Theorie wird vielfach sofort die technische Anwendung besprochen und an Beispielen erläutert, was für den Praktiker von besonderem Wert ist. Die Darstellung ist fast überall klar und verständlich und wird durch gute Abbildungen unterstützt. Den breitesten Raum nimmt das Problem des Röhrensenders (Verf. war im Kriege bei der Tafunk mit der Ausbildung des Röhrensenders beschäftigt) in Anspruch. In diesem Kapitel hat besonders die Theorie des Ziehens entsprechend den neueren Forschungen auf diesem Gebiet gegenüber der ersten Auflage eine gänzliche Umarbeitung erfahren. Ferner hat auch an anderen Stellen der Sendertheorie eine größere Ausführlichkeit Platz gegriffen, so bei der Einführung der Schwingkennlinien und ihrer experimentellen Aufnahme (neu eingefügt), bei der Berechnung der Frequenzen unterspannter und überspannter Sender, bei den Betrachtungen über den Anlaufvorgang. Weiter erscheint die Theorie des Schwingaudions in völlig veränderter und z. T. erheblich erweiterter Form, letzteres insbesondere auch mit bezug auf die experimentelle Prüfung der Theorie. Leider fehlt jedoch die praktische, in der ersten Auflage vorhandene Zusammenstellung der Maßnahmen, welche ein gutes Funktionieren des Schwingaudions voraussetzt.

Auch in den anderen Hauptabschnitten sind Veränderungen zu bemerken. Die dem Raumladungsproblem zugrundeliegenden potentialtheoretischen Erörterungen sind eingeschränkt und durch Auseinandersetzungen von physikalischer Anschaulichkeit erläutert worden. Ohne den Wert der Schottkyschen Arbeiten anrühren zu wollen, hält der Ref. die Einführung Schottkyscher Vorstellungen und Bezeichnungen neben den von Barkhausen geprägten nicht für glücklich, da sie geeignet ist, den Leser zu verwirren. Das Buch stellt doch keine Vorbereitung auf die Lektüre der schwierigen Schottkyschen Arbeiten, sondern ein in sich abgeschlossenes Ganze dar. Ob die folgenden, rein mathematischen Erörterungen (Durchgriffsberechnungen) in der vorgetragenen Ausführlichkeit am Platze sind, mag dahingestellt bleiben Sehr zu begrüßen ist dagegen ein neues Kapitel über Röhrentypen, welches auch die zugehörigen Kennlinien nebst den Röhrenkonstanten enthält. Gelegentlich des Pfeifens der Verstärker vermißt man die Erwähnung, daß dieses Pfeifen auch auf intermittierende Schwingungen nach Rschewkin und Wwedensky zurückführbar ist. (*Physikal. Ztschr.* **23.** *S. 150. 1922.*) Weshalb die Kapitel über Messungen an Röhren und über Störbefreiung in die Abschnitte über den Sender bzw. das Schwingaudion eingefügt sind, ist nicht recht verständlich. Sie gehörten eigentlich in den Anhang, in dem schon die Telephonieschaltungen sowie die ausländischen Röhren und Röhrenschaltungen und die Herstellung sehr kurzer Wellen behandelt sind. Besonders das neu aufgenommene Kapitel über die ausländische Röhrentechnik würde eine äußerst wertvolle Bereicherung des Buches darstellen, wenn es breiter angelegt und ausführlicher wäre, $2^1/_2$ Seiten sind dafür zu wenig. Man vermißt Angaben, die eine Vergleichung mit deutschen Apparaten ermöglichen Außerdem fehlt das wichtige Magnetron.

Die gemachten Ausstellungen sollen indessen den Wert des Werkes in keiner Weise herabsetzen, ebensowenig wie die folgenden mehr äußerlichen Schattenseiten des Buches, die eine gerechte Kritik nicht mit Stillschweigen übergehen darf. Zunächst stört die Benennung völlig verschiedener Begriffe mit ein und demselben Buchstaben, was zum Teil durch die Einführung der Schottkyschen Anschauungen bedingt ist. Anmerkungen wie die auf *S. 24* könnten billigerweise wegbleiben. Daß gelegentlich die Bezeichnungen *log* und *ln* durcheinandergeworfen werden (*S. 32*), ist für die Lektüre wenig erfreulich. Auch Mißgriffe im Ausdruck kommen hier und da vor. Der Kombinationswiderstand $\mathfrak{R}$ des Arbeitskreises ist bald in Fraktur, bald in Antiqua gesetzt, wodurch der Eindruck hervorgerufen wird, es handele sich um verschiedene Größen. Vertauschungen des Zählers und Nenners in einem analytischen Ausdruck sind mehrfach vorhanden und führen na-


Digitized by Google

türlich zu Diskrepanzen innerhalb der Rechnung. Zuweilen stimmt auch das angeführte Beispiel nicht (*S. 58*). Zitate haben keinen Wert, wenn die zugehörigen Literaturnachweise falsch (*S. 94*) oder unvollständig (*S. 149*) oder garnicht (*S. 159*) angegeben sind. Eine stärkere Berücksichtigung der Ergebnisse experimenteller Arbeiten wäre ebenfalls stellenweise erwünscht gewesen.

Trotz dieser kleinen Fehler, die in der nächsten Auflage hoffentlich beseitigt werden, behält das Werk als solches seinen Wert und niemand, der sich mit dem engeren Fachgebiet beschäftigt, wird daran vorübergehen können. *Zickner.*

H. Thirring, Die Idee der Relativitätstheorie. 2. durchgesehene und verbesserte Aufl. 8°. 172 S. mit 8 Textabb. Berlin, Julius Springer, 1922. 4.50 Goldmark/1.10 Dollar.

Da in der vorliegenden zweiten Auflage von Thirrings Buch nur ganz wenig geändert ist, habe ich meiner in *dieser Zeitschr.* ***42.*** *S. 160. 1922* veröffentlichten Besprechung der ersten Auflage nur hinzuzufügen, daß auch die im 17. Kapitel neu hinzugekommene Widerlegung des Einwandes bezüglich des Auftretens von Überlichtgeschwindigkeiten bei Rotation des Fixsternhimmels dem Verfasser ebenso geglückt und für den Leser ebenso leicht verständlich ist, wie alles in dieser trefflichen Schrift. *Max Jakob.*

Tauschstelle für wissenschaftliche Literatur.

Von Dr. Viktor Engelhardt, Charlottenburg.

Die ungeheure Steigerung der Bücherpreise macht es dem Forscher heute unmöglich, sich die für seine Arbeiten nötige Literatur zu beschaffen. Vielfach wird der Weg eingeschlagen, beim Antiquar Bücher, die man nicht mehr benötigt, für solche, die man erwerben will, in Zahlung zu geben. Nur wenige Buchhändler lassen sich heute noch auf ein derartiges Tauschverfahren ein, und wenn sie es tun, ist es mit großen Verlusten für den Bücherkäufer verbunden.

Auf Anregung des Verfassers soll daher der Versuch gemacht werden, einen direkten Tausch wissenschaftlicher Werke zu ermöglichen. Der Generaldirektor der Preußischen Staatsbibliothek, Herr Geheimrat Milkau, hat in liebenswürdigster Weise zwei Räume nebst Einrichtung im Bibliotheksgebäude zur Verfügung gestellt, so daß eine „Tauschstelle für wissenschaftliche Literatur“ eröffnet werden konnte.

Der Tauschverkehr ist auf heute noch brauchbare Werke der ernsthaften wissenschaftlichen Literatur beschränkt. Bücher der schönen Literatur können nur angenommen werden, wenn sie vor 1800 zum erstenmal erschienen sind.

Der Einlieferer eines Buches erhält einen auf Grundpreis (Friedenspreis) lautenden Gutschein. Für vollwertige Bücher wird der Gutschein in der Höhe des Ladenpreises (in Grundzahl oder Friedenspreis) ausgestellt. Bei veralteten Auflagen oder bei sehr schlechtem Erhaltungszustand werden entsprechende Abschläge gemacht. Die Schätzung erfolgt durch wissenschaftliche Beamte.

Für den Gutschein kann der Einlieferer zu beliebiger Zeit andere Bücher des Lagers erwerben, deren Grundpreis den Wert des Gutscheines nicht übersteigt. Erwerbung gegen Barzahlung ist ausgeschlossen. Bei Einkauf unter dem Wert des Gutscheines wird für die Differenz der Beträge ein neuer Gutschein ausgestellt. Da alle Tätigkeit an der Tauschstelle ehrenamtlich ist, werden Gebühren nicht erhoben.

Die Einrichtung der „Tauschstelle für wissenschaftliche Literatur“ entspricht einem Bedürfnis weiter Kreise. Es liegt im Interesse eines jeden wissenschaftlichen Arbeiters, ihre Tätigkeit möglichst fruchtbar zu gestalten. Das kann nur geschehen, wenn alle entbehrlichen Bücher (Literatur nicht mehr bearbeiteter Wissensgebiete, erledigte Rezensionsexemplare usw.) umgehend der Tauschstelle gegen Gutschein zur Verfügung gestellt werden. Auf diese Weise dürfte ein Lager zustandekommen, welches viele unbenutzte Schätze privater Bibliotheken wieder fruchtbringender Arbeit zuzuführen vermag.

Die Tauschstelle befindet sich in der Preußischen Staatsbibliothek, Eingang Charlottenstraße 39 beim Portier (klingeln). Sie ist geöffnet: Sonnabend 4—7 Uhr nachmittag.

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.



UNIV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ für Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben unter Mitwirkung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **A. Schmidt** in Cöln a. Rh., **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang.

1924.

4. Heft: April.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1924.


Digitized by Google

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande nur durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Die Berechnung erfolgt heftweise.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei	1/4	1/2	1/1	Seite Umfang
	22.50	45.—	90.—	Goldmark

Bei	6	12	malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist
	10	20 %	Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,20 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum Berliner Dollarbriefkurs des Vortages der Zahlung. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungsdatum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) nur auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch. Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

R. FUESS / Berlin-Steglitz

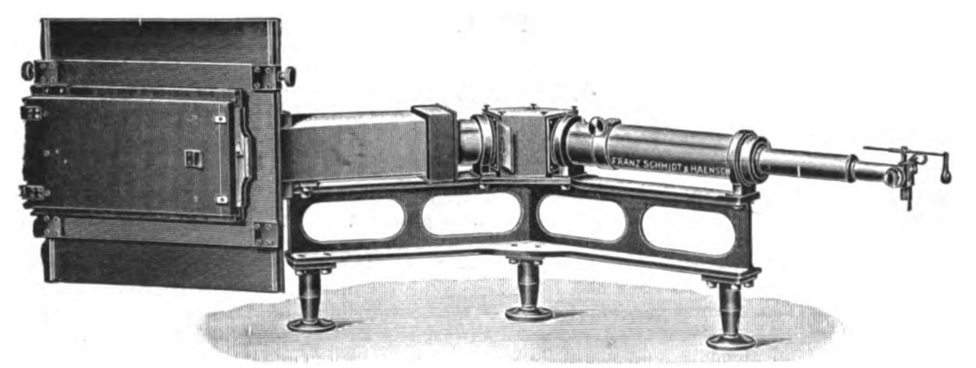


Großer Spektrograph.

R. FUESS BERLIN-STEGLITZ

Franz Schmidt & Haensch

Prinzessinnenstr. 16 **BERLIN S 42** Prinzessinnenstr. 16



Großer Quarzspektrograph

Polarisations-Spektral-Apparate sowie
Photometer für wissenschaftlichen und technischen Gebrauch.
Projektionsapparate, Spezial-Kugelepiskope und Epidiaskope.
Anomaloskope nach Nagel, Thornersche Augenspiegel.

Preislisten kostenfrei.

[6220]

Digitized by Google

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium.

Prof. Dr. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. **Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLIV. Jahrgang. April 1924. Viertes Heft.

Exposimeter zur Prüfung aller Arten photographischer Momentverschlüsse.

Von
Feinmechaniker **Rich. Nerrlich** in Berlin.

Während an der Verbesserung der photographischen Objektive andauernd gearbeitet wurde und wird, sind die Momentverschlüsse in dieser Beziehung recht vernachlässigt. Das hat verschiedene Ursachen und wohl nicht die kleinste ist, daß die Fehler der Verschlüsse nicht leicht und sofort klar erkennbar und sehr wenige

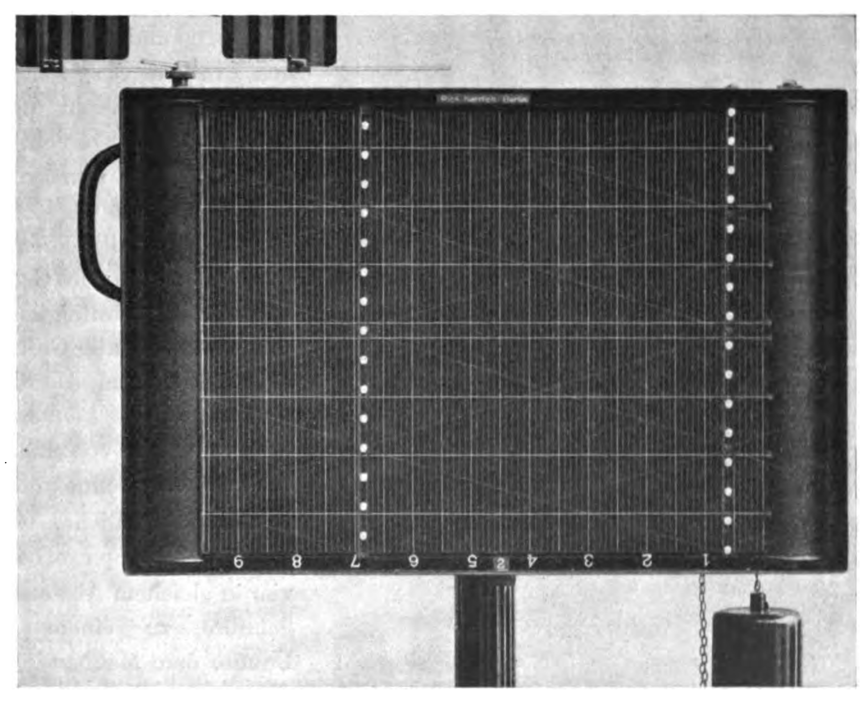


Fig. 1. Exposimeter, Vorderansicht. Meßband wagerecht laufend.

Gebraucher in der Lage sind, ihre Verschlüsse überprüfen und Fehler feststellen zu können, Fehler, die, wenn sie sich dem Geübten nicht schon auffallend bemerkbar machen, auch heute noch den meisten Fachleuten unbekannt und nur durch eingehende Prüfung zu entdecken sind. Und diese Prüfung fehlt eben bei Konstruktion und Herstellung der Verschlüsse noch meist, dabei soll der Verschluß ein zuverlässiges Meßinstrument sein, man verlangt von ihm, daß er der lichtempfindlichen Schicht


Digitized by Google

das Licht richtig zumißt. Alle noch so guten Belichtungstabellen, Aktinometer usw. nützen wenig, wenn die Verschlußgeschwindigkeiten falsch angegeben oder die Mechanismen merklich unregelmäßig wirksam sind.

Bei der Prüfung der Verschlüsse bereiten die dicht vor der lichtempfindlichen Schicht der Platte befindlichen Schlitzverschlüsse, die „Plattenverschlüsse“, die gerade eine Prüfung am nötigsten haben, die größere Schwierigkeit. Ihre ganze Wirkungsweise und Wirkungszeit ist nicht mit so einfachem Apparat festzustellen, wie die der am Objektiv befindlichen, der „Objektivverschlüsse“. Die in den wissenschaftlichen Laboratorien angewendeten Methoden sind, soweit mir bekannt, viel zu umständlich in Ausführung und Auswertung der Messungen, die Apparatur zu empfindlich für den Gebrauch des Konstrukteurs in der Praxis des Verschlußbaues. Einfache Methoden, wie sie z. B. während des Krieges (neben dem Exposimeter) viel zur schnellen Überprüfung der Fliegerkameras verwendet wurden, geben nur ein rohes Bild und genügen nicht für eingehende Untersuchungen.

Nach dem vom Verfasser in *dieser Zeitschr.* **20.** *S. 274. 1900* angegebenen Prinzip wurde von ihm 1906 das erste Exposimeter fertiggestellt. Über Arbeiten mit diesem vom Photochem. Laboratorium der Techn. Hochschule Berlin erworbenen Apparat berichtete Ferd. Leiber in *Photographische Rundschau, 1910. Heft 17.*

Das Exposimeter, das unter anderem auch zur Bestimmung der Brenndauer von Blitzlichtern dient, ist seitdem technisch und optisch wesentlich verbessert. Fig. 1 zeigt seine Vorderansicht und zwar das Meßband wagerecht laufend; es sei zunächst sein Prinzip angegeben. Dicht vor einer geradlinigen Skala mit weißen Strichen auf mattschwarzem Grunde bewegen sich geradlinig mit gleichmäßiger, bekannter Geschwindigkeit in gleichem Abstande von einander kleine konvexe Silberspiegelchen, die von einer starken Lichtquelle, Sonne oder elektrisches Bogenlicht, beleuchtet werden. Die Spiegel sitzen auf vier in gleichem Abstande durch Schnüre zu einem endlosen Bande, dem Meßbande, verbundenen Aluminiumrippen. Das Meßband, das wagerecht und senkrecht laufen kann, läuft über zwei Walzen, die durch ein Gewichtsuhrwerk getrieben werden, sein Gang kann durch verstellbare Windflügel auf alle Werte von 0,5 bis 25 tausendstel Se-

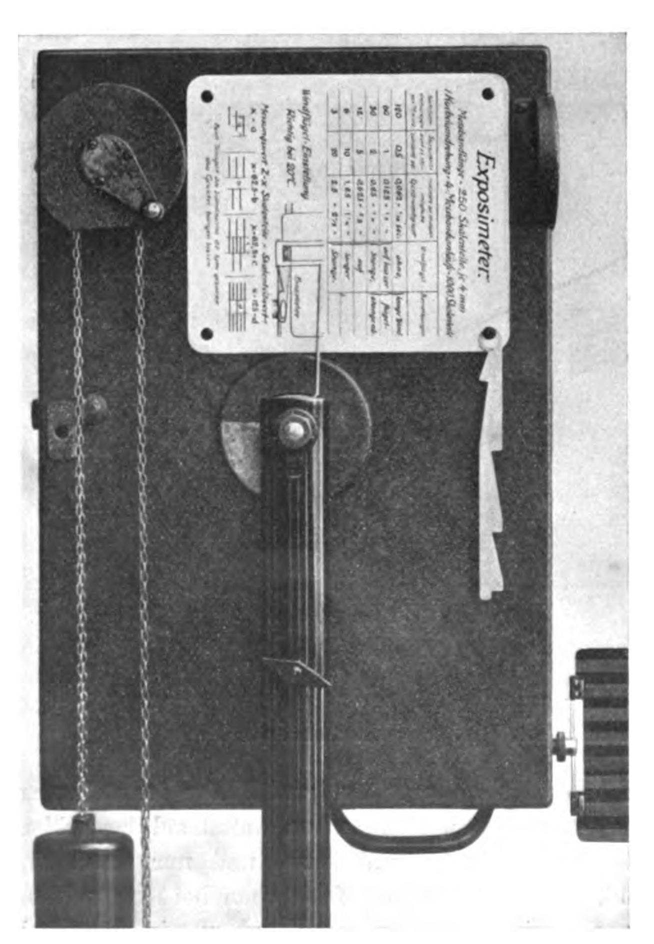


Fig. 2. Exposimeter. Rückansicht. Meßband senkrecht laufend.

Digitized by Google

kunden für den Skalenteil eingestellt werden. Zur Einstellung auf die Werte 0,5, 1, 2, 5, 10 und 20 tausendstel Sekunden dient eine Lehre, eine am Rande der Skala befindliche drehbare Trommel mit diesen Zahlen gibt eingestellt den jeweiligen Wert eines Skalenteiles an und wird mit photographiert, so daß Irrtümer vermieden werden. Wird nun die Skala des laufenden Exposimeters mittels des zu prüfenden Verschlusses aufgenommen, so werden auf ihr die Wege der beleuchteten Spiegelchen als geradlinige Striche, die Meßstriche, abgebildet, deren Länge in Skalenteilen sofort die Belichtungsdauer des Verschlusses ergibt.

Aus der Form und Lage der Meßstriche sind die charakteristischen Eigenschaften oder Fehler des Verschlusses zu ersehen.

Alle zum Gebrauch und zur Prüfung des Exposimeters nötigen Daten sind auf einer an seiner Rückwand befestigten Tabelle angegeben (Fig. 2).

Objektivverschlüsse.

Diese das Licht zu der Platte schon am Objektiv abschließenden, bzw. freigebenden Verschlüsse belichten sofort vom Anfang des Öffnens an die ganze Platte mit wachsender, bzw. beim Schließen mit abnehmender Helligkeit. Alle Meßstriche liegen senkrecht untereinander (Fig. 3) und sind gleichlang, wenn nicht etwa das Objektiv die Plattenränder merklich schwächer belichtet als die Mitte. Es genügt danach meist zur Bestimmung einer Geschwindigkeit nur ein Meßstrich, man kann also durch entsprechendes Abdecken der Platte auf ihr eine Reihe von verschiedenen Geschwindigkeiten aufnehmen. Hierzu ist eine Kamera mit Plattenverschluß, dessen verstellbarer Schlitz vor jedem Punkte der Platte festgestellt werden kann, geeignet, oder für häufige Messungen von Objektivverschlüssen zweckmäßig eine Kassette mit verstellbarem Schieber, der einen entsprechenden Schlitz hat. Die Teilung des Exposimeters hat die Maße 31 × 39 cm, auf Platten 9×12 wird sie also in etwas mehr als $^1/_4$ natürlicher Größe einzustellen sein. Auf jeder Rippe des Meßbandes sind 16 bzw. 15 Spiegel im gleichen Abstande von 20 mm, es können also etwa 15 Aufnahmen auf eine Platte gebracht werden. Diese dürften wohl für die meisten Verschlußprüfungen ausreichen, so daß man seine Daten auf nur einer Platte festgelegt und dabei den Vorteil erhält, von Schwankungen in der Wirkung des sich etwa verändernden Entwicklers usw. frei zu sein. Die Lage dieser einzelnen Meßstriche ist natürlich ganz willkürlich zueinander und durch die zufällige Stellung des betreffenden Spiegels bedingt. Da die Skalenteilwertzahl nur einmal an einem Rande der Teilung angebracht ist und der Skalenteilwert bei einer Anzahl von Aufnahmen auf eine Platte sich ändern wird, muß man diesen auf der Platte bei jedem Meßstrich oder jeder Meßstrichgruppe angeben, um Irrtum auszuschließen.

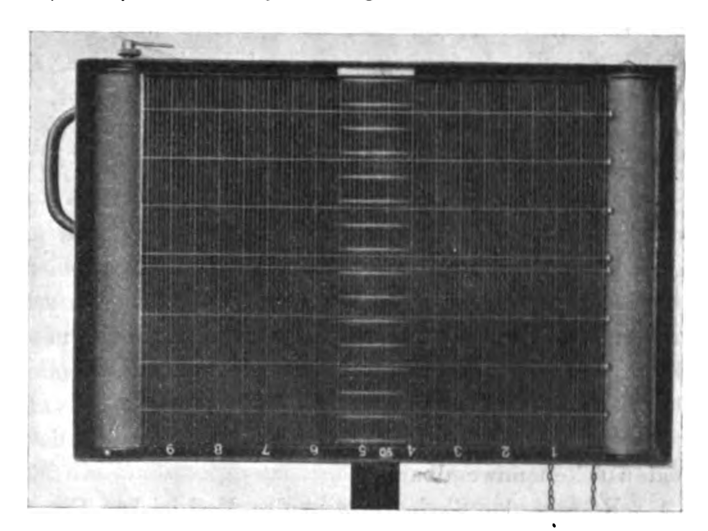


Fig. 3. Meßaufnahme vom Objektivverschluß.

Digitized by Google

Zur Untersuchung des optischen Wirkungsgrades von Objektivverschlüssen betrachtet man die Form der Meßstriche und zwar an solchen mit den kleinsten Skalenteilwerten. Ein Meßstrich hat etwa die Form Fig. 4. Das An- und Abschwellen der Breite zeigt die Zeit der Öffnungs- und Schließungsbewegung, die volle Strichbreite die Zeit der Öffnungsdauer des ganz geöffneten Verschlusses.

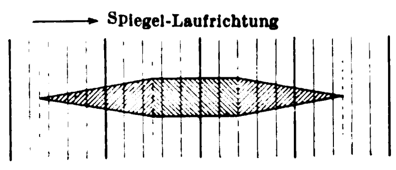


Fig. 4. Auswertung der Meßstrichform.

Die ganze Belichtungszeit des Verschlusses, also der Zeitwert der ganzen Meßstrichlänge, heißt die

effektive Öffnungszeit $= T$

des Verschlusses.

Rechnet man das An- und Abschwellende des Meßstriches, die in wechselnder Strichbreite dreieckförmig und auch mit wechselnder Schichtdichte (Schwärzung) erscheinen, in ein Rechteck mit der Breite gleich der größten Breite des Meßstriches bzw. seiner größten Schwärzung um, so ergibt die Länge dieses Rechteckes plus der Länge der parallelen (rechteckigen bzw. schichtdichtesten) Strecke des Meßstriches die

nützliche Öffnungszeit $= t$

des Verschlusses an, d. i. die Zeit, während welcher, wenn sich der Verschluß unendlich schnell öffnen und schließen würde und dazwischen eine gewisse Zeit offen bliebe, dieselbe Lichtmenge ginge, die durch den sich allmählich öffnenden und schließenden mit der effektiven Öffnungszeit T geht.

$\frac{\text{Nützliche Öffnungszeit}}{\text{Effektive Öffnungszeit}} = \frac{t}{T}$ ist der optische Wirkungsgrad des Verschlusses. t/T wird natürlich nie den größtmöglichen Wert $= 1$ erreichen, aber der Verschlußkonstrukteur muß doch darauf hinwirken, daß das parallele Stück des Meßstriches möglichst lang gegen die An- und Abschwellenden wird, eine bei den schnellsten Geschwindigkeiten, über $^1/_{150}$ sec., und besonders bei solchen mit größeren Öffnungen schwer zu lösende Aufgabe. Kleinere Verschlüsse mit gleichbleibend voller Öffnung, deren Objektive deshalb besondere einstellbare Blenden haben (also nicht die wirklichen „Irisverschlüsse"), werden bei Aufnahme mit kleiner Blende dieser Forderung gut gerecht, aber leider sind bei kleiner Blende die größten Verschlußgeschwindigkeiten selten anwendbar.

Beträgt der Skalenteilwert des Meßstriches Fig. 4 $= 0{,}0005$ sec., so ist die Öffnungsdauer $= 0{,}0030$ sec., die Zeit der vollen Öffnung $= 0{,}0022$ und die Schließungsdauer $= 0{,}0028$ sec.; es ist also $T = 0{,}008 = {}^1/_{125}$ sec., $t = \frac{0{,}003 + 0{,}0028}{2} + 0{,}0022 = 0{,}005$ und der optische Wirkungsgrad $t/T = {}^5/_8$, was bei einer Blendenöffnung von 24 mm einem guten Verschluß entspricht.

Plattenverschlüsse.

Während die Objektivverschlüsse die ganze lichtempfindliche Platte mit einmal belichten, doch mit wechselnder Helligkeit, erfolgt die Belichtung durch die Plattenverschlüsse mit der vollen Helligkeit des Objektivs, aber (in der Richtung des Schlitzlaufes) nacheinander. Hieraus ergibt sich bei der Aufnahme bewegter Objekte mit Objektivverschluß eine Unschärfe, mit Plattenverschluß bei gleichen Verhältnissen neben derselben Unschärfe eine große Verzerrung am Bilde. Die ganze Zeitmessung mit dem Exposimeter besteht ja eigentlich aus dem Messen der während einer gewissen Zeit entstandenen „Unschärfe" des Lichtfleckes auf der Platte. Läuft

Digitized by Google

der Schlitz des Plattenverschlusses in der Bewegungsrichtung des Bildes auf der Platte (nicht in der Bewegungsrichtung des Objektes, da doch bei gewöhnlichem Objektiv das Bild umgekehrt ist!), so ergibt sich eine verlängernde Verzerrung des Bildes, entgegengesetzt eine Verkürzung. Schlitzlauf senkrecht zur Bildbewegung ergibt ein nach vorn oder hinten (in bezug auf die Bildbewegung) stürzendes Bild, je nach der Seite, von der der Schlitz senkrecht zur Bildbewegung kommt.

Durch die Möglichkeit, den Schlitz des Plattenverschlusses bei verhältnismäßig schnellem Lauf sehr schmal nehmen zu können, kann durch ihn die Belichtungsdauer jedes Plattenpunktes kleiner sein, als dies mit einem gewöhnlichen Objektivverschluß erreichbar ist. Also nur bei möglichst kurzen Belichtungszeiten verdient der Plattenverschluß vor dem Objektivverschluß einen Vorzug, wie auch W. Zschokke durch seine Untersuchungen mit dem Exposimeter gezeigt hat. (Objektiv- und Plattenverschluß. *Photographische Rundschau 1918, Heft 7.*)

Bei der Bauart der jetzigen Plattenverschlüsse bewegt sich der Schlitz nicht unmittelbar vor der Platte, sondern etwa 10 bis 15 mm vor derselben. Hierdurch wird bewirkt, daß nicht, wie meist angenommen wird, die optische Wirksamkeit = 1, sondern kleiner ist und gerade bei schmalem Schlitz, also den erstrebten großen Geschwindigkeiten, ist der optische Wirkungsgrad kleiner als bei breiterem.

Die Plattenverschlüsse haben aber infolge der Unstarrheit ihrer wichtigsten Konstruktionselemente und der verhältnismäßig großen Massen ihrer bewegten Teile noch erheblich größere Mängel. So sind die Geschwindigkeiten bei derselben Einstellung noch ungleichmäßiger als bei den Objektivverschlüssen. Aber auch wenn keine Witterungs- und Temperatureinflüsse einwirken, ändert sich die Schlitzgeschwindigkeit ganz erheblich mit der Änderung der Laufrichtung des Schlitzes, z. B. bei Hoch- und Queraufnahmen oder Aufnahmen vom Flugzeug herab. Weiter entstehen kleinere Änderungen der Geschwindigkeiten bei derselben Federstellung durch Veränderung der Schlitzbreiten, so daß z. B. die Belichtungszeit bei Schlitzbreite 50 mm nicht die 10fache des 5 mm breiten Schlitzes ist. Oft ändert sich während des Schlitzlaufes seine Breite, was natürlich bei den engsten Schlitzen, den kleinsten Belichtungszeiten, wieder verhältnismäßig große Fehler erzeugt. Auch kommt es vor, besonders bei den schnellsten Geschwindigkeiten des Schlitzes, daß er tonnenförmig wird, in der Mitte breiter als an den Enden; es biegen sich die Schlitzbegrenzungsleisten, an deren Enden die Zugorgane angreifen, durch (wieder bei schmalem Schlitz einen größeren Fehler bewirkend als bei breitem), wodurch die dem Schlitzlauf parallelen Plattenränder schwächer belichtet werden als die Mitte. Ein anderer Fehler ist der, daß die Schlitzgeschwindigkeit keine gleichförmige, sondern, von seiner Ruhelage anfangend, eine beschleunigte ist. Dieser Fehler ist wohl nach der Verzerrung der bekannteste und wird sogar häufig als Vorzug empfunden, wenn der Schlitz von oben nach unten läuft und damit der Vordergrund länger belichtet wird.

Alle derartige Fehler sind nur durch Meßaufnahmen mittels der Verschlußstellung und -Geschwindigkeit, die man eben messen will, richtig erkennbar. Die direkte Messung z. B. der Schlitzbreite, indem man den aufgezogenen Verschluß auslöst und am Aufzuggriff den Lauf hemmend den Schlitz bis zu der Stelle führt, wo man seine Breite mit dem Längenmaß nachmessen will, ist höchst unsicher, da infolge der lebendigen Kraft und der geringen Starrheit des Mechanismus (Jalousiestoff, Stoffbänder usw.) der Schlitz in dieser Ruhelage ein anderes Verhalten zeigt als ungehemmt vorbei fliegend.

Zur Untersuchung eines Plattenverschlusses auf Fehler ist es nötig, seine Wirk-


Digitized by Google

samkeit über die ganze Platte zu haben. Dazu stellt man die Exposimeterskala auf der Mattscheibe so groß ein, daß diese ganz bedeckt ist, das ist, wie schon angegeben, bei Platte 9×12 in etwas mehr als $^1/_4$ natürlicher Größe. Wo das nicht möglich ist, z. B. bei zu kurzem Abstand von Objektiv und Platte, zu kurzem Auszug der Kamera, macht man mehrere Aufnahmen, z. B. vier, indem man die Platte vierteilt und zu jeder Aufnahme die übrigen drei Teile abdeckt. Es sei auch hier nochmals darauf hingewiesen, daß man durch mehrere Aufnahmen auf einer Platte für diese von der verschiedenen Wirkung sich etwa ändernden Entwicklers usw. (Temperatur, Konzentration) frei wird. Soll der Verschluß auf Parallelismus des Schlitzes untersucht werden, so ist es nötig, die Meßstriche in der Plattenmitte und an ihren entsprechenden zwei Rändern zu erhalten. Hier ist man auf den nicht seltenen Zufall angewiesen, da sich meist zwei Spiegelreihen über der Skala befinden, oder man stellt die Exposimeterskala möglichst klein auf gewünschter Stelle der Mattscheibe ein und macht, wie angegeben, mehrere Aufnahmen auf einer Platte, das Resultat mit der Lupe ablesend.

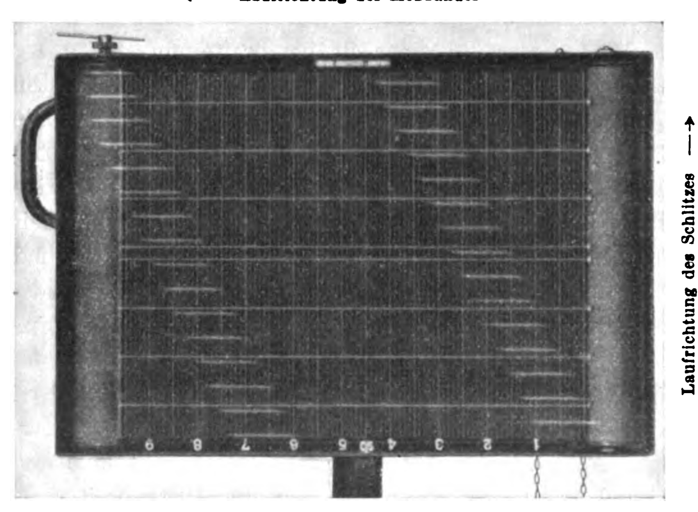


Fig. 5. Meßaufnahme vom Plattenverschluß

Während zur Meßaufnahme von Objektivverschlüssen die Laufrichtung des Meßbandes beliebig sein kann, ist sie zur Prüfung von Plattenverschlüssen senkrecht zu der des Verschlußschlitzes zu stellen, zu welchem Zwecke eben das Exposimeter verstellbar, von senkrechter zur wagerechten Laufrichtung der Spiegel umlegbar ist. Die Meßstriche sind nun nicht wie beim Objektivverschluß in der Spiegellaufrichtung genau untereinander abgebildet, also alle Striche auf demselben Skalenteil anfangend und, da sie gleich lang sind, auch endend, wie Fig. 3, sondern, entsprechend der oben angedeuteten Verzerrung, gegeneinander verschoben, Fig. 5 und 6.

Für die Beurteilung des Plattenverschlusses kommen zwei Belichtungszeiten in Betracht:

1. die Belichtungszeit jedes Plattenteilchens, t_s, meist die Geschwindigkeit des Verschlusses genannt,

2. die Belichtungszeit der ganzen Platte, t_p, die Dauer der ganzen Aufnahme. t_s ist bei derselben Schlitzgeschwindigkeit abhängig von der Schlitzbreite $= s$ und direkt durch die Meßstrichlänge gegeben.

t_p wird erhalten, wenn man p, das ist die Plattengröße in der Schlitzlaufrichtung, durch die Schlitzbreite s dividiert und mit der Belichtungszeit des Plattenteilchens $= t_s$ multipliziert:

$$t_p = \frac{p \cdot t_s}{s}.$$

Digitized by Google

t_p wäre nur dann ein eindeutiger Wert, wenn bei gleichbleibender Schlitzbreite die Schlitzgeschwindigkeit eine gleichförmige ist; besonders letzteres ist aber, wie oben ausgeführt, nicht der Fall, und so kann man nur von einer mittleren Belichtungszeit der ganzen Platte sprechen. Dieses mittlere t_p erhält man aus dem t_s von einem der Meßstriche aus der Mitte der Platte, oder aus dem arithmetischen Mittel der Summe der beiden äußersten, oder aus der Summe aller Meßstriche derselben Reihe. Hat man bei der Meßaufnahme die Skala so groß eingestellt, daß sie die ganze Platte bedeckt, so ist auch t_p sofort abzulesen, und zwar ist $t_p =$ der Verschiebung der Anfänge der äußersten Meßstriche derselben Reihe plus der Länge des letzten Meßstriches in der Spiegellaufrichtung, also in Fig. 6 = rd. 50 Skalenteile

Wird durch die Anfänge aller Meßstriche derselben Spiegelreihe eine Kurve gelegt, so kann auch aus dieser die Belichtungszeit jedes Plattenpunktes ersehen werden und zwar ist sie für jeden Punkt einer Linie, die die Kurve parallel der Spiegellaufrichtung schneidet, durch die im Schnittpunkt an die Kurve gelegte Tangente gegeben, Fig. 6. Ist M die Meßbandgeschwindigkeit und α der Winkel, den die Tangente mit der Spiegellaufrichtung bildet, so ist die Geschwindigkeit des Schlitzes

$$V = M \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

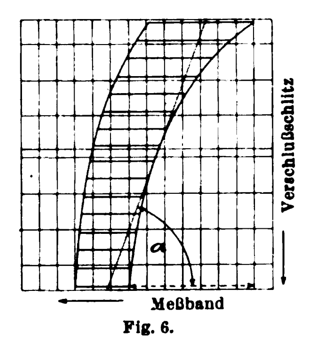


Fig. 6.

Für die Forderung der Technik sind aber die Meßergebnisse ja einfachst durch die Längen der Meßstriche direkt gegeben, deshalb sei auf diese Verhältnisse, auch nicht auf die Beziehungen zwischen den Meßkurven durch die Anfänge und durch die Enden derselben Meßstrichreihe u. a. nicht weiter eingegangen.

Auswertung der Meßaufnahmen.

Das endlose Meßband hat 1 m Länge, jeder Skalenteil 4 mm, ein Meßband umlauf beträgt also 250 Skalenteile. Die Länge der Skala ist durch ihre Lage zwischen den Meßbandwalzen begrenzt, sie beträgt nur 95 Skalenteile und doch sind 125 Skalenteile für alle Messungen verfügbar, d. h. alle Meßstrichlängen bis 125 Skalenteile ablesbar.

Wenn die Spiegel der vier Träger (Rippen), die auf dem Meßbande gleichen Abstand von einander, also von 62,5 Skalenteilen haben, alle gleiche Lage hätten, so würden nach $^1/_4$ Meßbandlauf alle Meßstriche ineinander übergehen bei entsprechender Belichtungsdauer; diese, die größte Meßzeit, wäre für jeden Skalenteilwert also nur verhältnismäßig kurz. Es soll hier nicht in Betracht gezogen werden daß bei teilweisem Ineinanderlaufen der Meßstriche dennoch durch die entsprechend teilweise größere Schwärzung der ununterbrochenen Meßstriche die Meßzeit festzustellen möglich ist, sondern es ist eine Verlängerung der getrennten und so leicht und sicher meßbaren Meßstriche auf das Doppelte, also bis 125 Skalenteile, durch folgende Spiegelanordnung erreicht:

Die Spiegel jedes Trägers stehen in gleichen Abständen von 20 mm voneinander, jedoch derart, daß sie auf Träger 1 und 3 5 mm von den Trägerenden anfangen und auf Träger 2 und 4 15 mm. Die Spiegel sind also auf Träger 1 und 3 von ihren Enden 5, 25, 45, 65 usw. mm entfernt und auf Träger 2 und 4 15, 35, 55, 75 usw. mm. Hierdurch laufen bei entsprechender Belichtungsdauer erst nach einem halben Meßbandumlauf = 125 Skalenteile die Meßstriche ineinander

Digitized by Google

über und es erscheinen die Meßstriche der Spiegelreihen 2 und 4 zwischen denen der Spiegelreihen 1 und 3. Die zur Verfügung stehenden 125 Skalenteile ergeben nun folgende Meßbereiche: Es ist die kleinste zu messen mögliche Geschwindigkeit

bei	Skalenteilwert	0,0005	sec.	$= 0{,}062 = {}^1/_{16}$	sec.[1]),
„	„	0,001	„	$= 0{,}125 = {}^1/_8$	„
„	„	0,002	„	$= 0{,}25 = {}^1/_4$	„
„	„	0,005	„	$= 0{,}625 = {}^5/_8$	„
„	„	0,010	„	$= 1{,}25 = 1\,{}^1/_4$	„
„	„	0,020	„	$= 2{,}5 = 2\,{}^1/_2$	„

Die Belichtungsdauer einer Meßaufnahme, ihr Meßwert $= Z$ ist gleich der abgelesenen Meßstrichlänge x multipliziert mit dem Skalenteilwert in Sekunden:

$$Z = x \times \text{Skalenteilwert}. \qquad 1)$$

Die abzulesende Meßstrichlänge kann sich verschiedenartig gestalten:

A) Erscheinen die Meßstriche in ihrer ganzen Länge $= a$ auf der Skala, Fig. 3, 5 und 6, so ist

$$x = a. \qquad 2)$$

Die Meßstriche erhält man stets in ihrer ganzen Länge, wenn sie nicht länger als 32,5 Skalenteile, d. i. die Differenz zwischen der Skalenlänge $= 95$ und der Entfernung zweier benachbarter Spiegelreihen $= 62{,}5$ Skalenteile, werden.

Ergibt sich diese einfachste Ablesung, d. h. diese kurzen Meßstriche nicht von selbst, so ist sie bei geeigneter Anpassung der Meßbandgeschwindigkeit an die des zu prüfenden Verschlusses natürlich immer zu erreichen, wird aber nur für besondere Zwecke besonders zu erstreben sein, zumal die Meßgenauigkeit bei langen Strichen größer sein kann als bei kürzeren, wenn beide denselben Meßwert ergeben müssen.

Die Meßstriche können natürlich bis zu einer Länge gleich der Skala, also 95 Teile, **ganz** abgebildet sein, aber das trifft zufällig ein und um so seltener, je näher die Strichlänge an 95 liegt.

B) Die Meßstriche erscheinen nicht in ihrer ganzen Länge auf der Skala, es fehlen die Enden einer Meßstrichreihe, dann sind aber die Enden der Meßstrichreihe von der folgenden oder zweitfolgenden Spiegelreihe abgebildet.

Wenn die Meßstriche gerade gleich der Entfernung benachbarter Spiegelreihen, also 62,5 Skt., lang wären, dann ständen die Anfänge einer Meßstrichreihe gerade über den Enden der folgenden, also auf demselben Skalenteil. (Die Erklärungen hier sind auf Messungen von Objektivverschlüssen bezogen, für Plattenverschlüsse ist die geringe Verschiebung der untereinander stehenden Meßstriche zu berücksichtigen.)

$\leftarrow b \rightarrow$

Fig. 7.

I. Sind die Meßstriche nun länger als 32,5, aber kürzer als 62,5 Skalenteile, so fehlt zwischen den Anfängen und Enden der beiden Meßstrichreihen eine Strecke $= b$, diese fehlt also an 62,5, Fig. 7, und so ist

$$x = 62{,}5 - b, \qquad 3)$$

daraus folgt $x + b = 62{,}5$, und weiter, daß b kleiner sein muß als 30, da sonst stets

[1]) An den Verschlüssen ist der Raum für die Geschwindigkeitsbezeichnungen meist sehr beschränkt und so werden diese wohl stets durch einfache gewöhnliche Brüche mit dem Zähler „1“ weil weniger Zahlen enthaltend als entsprechende Dezimalbrüche, ausgedrückt. Dabei bildet der Zähler „1“ zugleich den Indexstrich zur Einstellung.

Digitized by Google

Meßstrichreihen mit **ganzen** Strichen $= a = x$ (Formel 2) abgebildet werden, denn Skalenlänge $= x + x + b$ oder

$$\begin{aligned} 2x + b &= 95 \\ x + b &= 62{,}5 \\ \hline x \quad &= 32{,}5 \end{aligned}$$

und $b = 30$ Skalenteile.

II. Sind die Meßstriche länger als 62,5 Skalenteile, so ragen zwischen die Meßstriche der ersten Spiegelreihe die der folgenden hinein; dabei können dreierlei Strichgruppierungen entstehen:

a) Es sind nur die Anfänge und die Enden der Meßstriche von zwei einander folgenden Spiegelreihen zu sehen, Fig. 8. Um den Meßwert zu erhalten, ist die Strecke c, um die sich die Meßstrichreihen überragen (überlaufen), zur Entfernung der Spiegelreihen zu addieren:

$$x = 62{,}5 + c, \qquad 4)$$

c kann nie größer als 62,5 sein, da dann alle Meßstriche ineinanderlaufen, c muß aber kleiner als 30 werden, sonst tritt der Fall 4 ein.

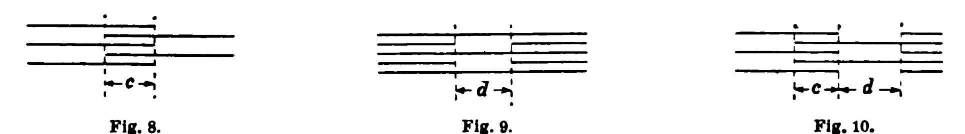


Fig. 8. Fig. 9. Fig. 10.

b) Es erscheinen nur die Meßstrich-Anfänge und Enden von zwei in gleicher Höhe stehenden Spiegelreihen, die also 125 Skalenteile von einander entfernt sind, während die Meßstriche von der zwischenliegenden Spiegelreihe über die ganze Skala gehen, Fig. 9. Hier ist die Länge der fehlenden Strecke $= d$, welche die Meßstriche gerade zu ununterbrochenen Strichen über die ganze Skala ergänzen würde, die also an 125 fehlt, bestimmend:

$$x = 125 - d. \qquad 5)$$

Dieser Fall kann nur eintreten, wenn d kleiner als $125 - 95 = 30$ ist, sonst ergibt sich wieder der folgende Fall c).

c) Die häufigst entstehende Anordnung bei längeren Meßstrichen ist das gleichzeitige Auftreten der Fälle a) und b), Fig. 10, dann hat man die Wahl oder liest zur Kontrolle beide Werte ab:

$$x = 62{,}5 + c = 125 - d. \qquad 6)$$

Daraus folgt $c + d = 62{,}5$ und daß c oder d nie größer sein kann als 62,5, d. i. die Entfernung zweier benachbarter Spiegelreihen. Hieraus lassen sich Fehler im Abstand der Spiegelreihen erkennen, die man aber auch einfach durch direkte Messung feststellen könnte.

Es ist nicht zweckmäßig, mit sehr kleinen Meßstrichlängen, etwa ein Skalenteil oder noch kürzer, zu arbeiten, d. h. so schwache Lichtquellen zur Beleuchtung der Spiegel zu benutzen, daß das Meßband langsam laufen muß, der Skalenteilwert also groß wird. Ist letzterer z. B. 0,02 sec., so messe man nur Geschwindigkeiten kleiner als 0,02 sec. damit. Bei gutem Sonnenlicht und nicht zu lichtschwachem Objektiv erhält man auf mittelempfindlichen Platten bei schnellstem Lauf des Meßbandes, also dem Skalenteilwert 0,0005 sec. ($^1/_{2000}$ sec.) recht gut erkennbare Meßstriche. Diese Meßbandgeschwindigkeit ist aber für alle praktischen Fälle reichlich, mechanische Verschlüsse mit derartig großen Geschwindigkeiten, daß hier der Meßstrich kleiner als 1 Skalenteil wird, gibt es nicht, sie erhielten andernfalls außergewöhnliche Größe und Bauart.


Digitized by Google

Die größte Geschwindigkeit beansprucht das Meßband am meisten, zu seiner Schonung wird man erstere nicht unnötig anwenden.

Für genaueste Messungen, etwa zur Prüfung von Plattenempfindlichkeiten, sind folgende Betrachtungen zu beachten.

Der Schwellenwert der Platte, d. i. der sichtbare Anfang der Lichtwirkung auf die lichtempfindliche Schicht, wird erst erreicht, wenn Licht von einer bestimmten Mindeststärke eine gewisse Zeit auf die Platte einwirkt. In Fig. 11 sei der Kreis der Lichtfleck (das Sonnenbild) auf der Platte, der sich in der Pfeilrichtung bewegt und den Meßstrich erzeugt. Punkt *a* am Rande des Lichtfleckes bleibt unendlich kurze Zeit über jedem Plattenpunkt seiner Bahn, Punkt *b* die größtmögliche Zeit, d. i. die ganze Zeit der Bewegung des Lichtfleckes um die Strecke seines Durchmessers. Dazwischen liegt ein Punkt, z. B. *c*, bis zu dem *a* gelaufen, der Schwellenwert erreicht ist. Die Breite des Meßstriches wird aus demselben Grunde auch geringer als der Durchmesser des Lichtfleckes. Die gleiche Helligkeit jedes Punktes des Lichtfleckes vorausgesetzt, schneiden die der Laufrichtung parallelen Sehnen de und $fg = ac$ aber verhältnismäßig wenig von der Breite ab.

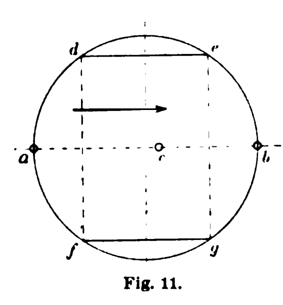


Fig. 11.

Die Größe der Strecke ac hängt von der Empfindlichkeit der lichtempfindlichen Schicht und der Helligkeit des Lichtbildchens (des Lichtfleckes) auf der Platte ab. Hiernach müßte zu der abgelesenen Länge des Meßstriches eine Strecke kleiner als seine Breite zu- oder abgerechnet werden. Wenn z. B. die Platte zur Meßaufnahme empfindlicher war als die beim sonstigen Gebrauch des Verschlusses verwendeten, würde auf letzteren die optische Wirksamkeit des Verschlusses geringer erscheinen.

Es sei aber darauf hingewiesen, daß es völlig zwecklos wäre, bei der Prüfung gewöhnlicher Momentverschlüsse Feinheiten, wie eben beschrieben, in der Messung anwenden zu wollen.

Der Mechanismus des Exposimeters und seine Prüfung.

Auf einem Dreifußstativ aus nahtlos blankgezogenen Stahlrohren, die autogen miteinander verschweißt sind, sitzt ein rechteckiger Kasten aus 2 mm starkem Stahlblech mit den Außenmaßen $490 \times 335 \times 65$ mm³, der um seine Mitte auf einer Kegelachse drehbar ist. Der Kasten liegt an seiner Achse 1,35 m über dem Fußboden, so daß an und mit dem Exposimeter bequem zu hantieren ist. Innerhalb des Kastens sind parallel im Abstand von 421,5 mm die beiden Walzen, über die das Meßband läuft, mit Kugelenden der Achsen in Kugellagern eigener Bauart gelagert. Die 320 mm langen Walzen aus versteiftem, hartgezogenem Magnaliumrohr vom Durchmesser außen 49, innen 48 mm, sind mit mattschwarzem Wollstoff beklebt, ihre langen, gehärteten Stahlachsen gehen ganz durch die Walzen, sind an ihnen nur an einem Ende befestigt und können am andern gleiten, so daß etwaige Spannungen und Verbiegungen infolge der verschiedenen Ausdehnungsziffern von Stahl und Magnalium vermieden werden. Die eine Walze ist durch Kegelräder mit dem Laufwerk gekuppelt, das hinten außen am Kasten in einer Ecke sitzt. Da die Genauigkeit der Messung in erster Linie vom gleichmäßigen Umlauf des Meßbandes abhängt, so ist als Triebkraft der Zug eines Gewichtes mittels einer dünnen Kette genommen. Die endlose Kette geht über zwei Kettenräder des Laufwerks und bildet zwei Schleifen, in einer hängt an einer Rolle das rd. 2 kg schwere Zuggewicht und in der andern ein kleines Gewicht


Digitized by Google

von 100 g zum Spannen dieser Schleife, damit sich die dünne Kette hier nicht verwickelt. Das Spanngewicht wirkt und läuft dem Zuggewicht entgegen. Das eine Kettenrad mit einer Kurbel mit geräuschlosem Gesperre dient zum Aufziehen des Zuggewichtes, das andere für den Antrieb des Laufwerks. Dessen Zahnräder und Achsen laufen wie die Walzen in Kugellagern, die ölhaltend sind und je nach Gebrauch erst nach Jahren neu geschmiert werden brauchen. Zum möglichst geräuschlosen Gang des Laufwerks ist das schnellaufende Rad, das in das Stahltrieb der Walze greift, aus Vulkanfiber.

Damit das Meßband wagerecht und senkrecht laufen kann, ist der Kasten um 90 Grad an Anschläge am Stativ drehbar und wird hier festgeklemmt. Im Gehäuse des Laufwerks ist zum Umlegen des Kastens ein Ausschnitt erforderlich, durch den in jeder Kastenlage die vier Kettenstränge frei hängen können.

Der Gang des Laufwerks ist vom Aufziehen des Gewichtes, dem Drehen der Kurbel während des Ganges, unbeeinflußt, so daß also das Exposimeter läuft, so lange man die Kurbel dreht. Hierdurch ist es ermöglicht, einfach und genau die Laufzeiten des Meßbandes zu prüfen, denn allein zur Meßaufnahme genügt das Hochkurbeln des Gewichtes, der Gang des Exposimeters während der Hubhöhe, reichlich, so daß nicht etwa zwei Personen zur Aufnahme nötig sind. Die Zahnräderübersetzungen und Walzendurchmesser sind so berechnet, daß eine Kurbelumdrehung genau 4 Meßbandumläufe bewirkt.

Die Prüfung der Kurbelumdrehungszahl geschieht zweckmäßig während einiger Minuten, 5 werden meist genügen, und so, daß man schnell das Zuggewicht hochkurbelt, bis es mit dem sinkenden Spanngewichtchen in gleicher Höhe ist. So sucht man die Gewichte zu halten, was meist nach einigen Kurbelumdrehungen gelingt, da die gegeneinander laufenden Gewichte auch kleine Schwankungen in der Kurbeldrehung erkennen lassen. Es ist zwar eigentlich nur nötig, daß am Anfang und Ende der Zählung das Zuggewicht die gleiche Höhenlage hat, die Anzahl der Kurbeldrehungen ist in beiden Fällen die gleiche, aber es ist einfacher und sicherer, das Gewicht in gleichmäßiger Höhe zu erhalten, als in einem gegebenen Zeitpunkt eine bestimmte Höhenlage zu erreichen. Die Zählung der Kurbeldrehungen beginnt bei einer bestimmten Kurbelstellung, etwa senkrecht nach unten, nachdem das Meßband eine gleichmäßige Geschwindigkeit erreicht hat, was bei der schnellsten Geschwindigkeit etwa eine Minute nach Ingangsetzung, bei der langsamsten fast sofort erfolgt. Die Uhr, Stoppuhr oder Taschenuhr mit Sekundenzeiger, hält man so hinter die Gewichte, daß man diese beobachten und die Uhr ablesen kann. Die Lage des Laufwerks in der Ecke des Kastens (bei wagerechtem Lauf des Meßbandes, welche Stellung die weitaus meist verwendete ist, rechts unten), gestattet alle Messungen und Prüfungen des Apparates, sowie die Beobachtung seiner Vorderseite beim Handhaben der Kurbel bequem.

Bei den kleinen Geschwindigkeiten des Meßbandes, 48, 24 und 12 Umläufe je Minute, welche den Skalenteilwerten 0,005, 0,01 und 0,02 sec. entsprechen, zählt man nicht die Kurbelumdrehungen (12, 6 und 3), sondern direkt die Meßbandumläufe. Hierzu klebt man leicht auf ein Ende eines Spiegelträgers des Meßbandes eine Marke aus weißem Papier, etwa ein Quadrat mit 7 mm Seitenlänge, und befestigt ein ähnliches am nächstliegenden Längsrande des Kastens. Die Zählung beginnt im Moment des Übereinanderstehens beider Marken, wobei man die Uhr in möglichste Nähe der festen Marke hält und kann dabei bequem das Gewicht bei längerer Dauer der Zählung hochkurbeln.


Digitized by Google

Bei 12 Meßbandumläufen in der Minute läuft das ganz aufgezogene Exposimeter in wagerechter Stellung 6 Minuten.

Die Prüfung, ob genau einer Kurbelumdrehung 4 Meßbandumläufe entsprechen, geschieht wie die Prüfung der Meßbandumläufe, nur daß dabei auch die Kurbelumdrehungen in derselben Zeit zu zählen sind (wobei natürlich das Zuggewicht in gleicher Höhenlage, wie oben angegeben ist, zu halten ist), durch zwei Personen, deren eine die Meßbandumläufe zählt und die andere die Kurbelumdrehungen und das Gewicht dabei beobachtet.

Ohne Hilfsperson kann man dieselbe Prüfung wie folgt ausführen: Am wagerechten Exposimeter wird das Meßband so gestellt, daß die oben genannten beiden Hilfsmarken übereinander stehen. In dieser Lage wird das Meßband durch leichten Fingerdruck auf einen Walzenrand gehalten, das Zuggewicht so hoch als möglich gekurbelt und die Kurbellage, etwa durch einen Kreidestrich, fixiert. Jetzt gibt man das Meßband (die Walze) frei und zählt seine Umläufe. Nach etwa 65 vollen Umläufen, jedenfalls vor Ablauf des Gewichtes, das nach etwa 69 Umläufen stattfindet, hält man die Walze wieder fest (Achtung, nicht in das zarte Meßband greifen!) und kurbelt das Gewicht wieder hoch bis an die Anfangsstellung, die Kurbelumdrehungen zählend. Nun wieder das Meßband freilassend, zählt man weiter und setzt das beliebig fort, etwa bis Meßband und Kurbel genau über ihren Anfangsstellungen stehen.

Zur Eichung und Prüfung wird bei der Herstellung der Exposimeter ein feines Tachoskop benutzt, das den Gang des Exposimeters nicht bemerkbar beeinflußt.

Das Gewicht der Laufwerkskette ist im Verhältnis zum Zuggewicht klein, ein noch feststellbarer Gangunterschied zwischen den Lagen des Zuggewichts bis ans Laufwerk aufgezogen und fast abgelaufen, etwa 110 cm bei wagerechtem Meßbandlauf, ist selbst für feinere Messungen bedeutungslos, es werden aber auch die Exposimeter bei der Mittellage der Gewichte, wie oben angegeben, geeicht.

Die durch das Laufwerk gedrehte Meßbandwalze versetzt das Meßband in Umlauf und dieses dreht dabei auch die andere Walze. Das Achsende dieser, das in der der Laufwerksecke diagonalen gelagert ist, geht durch den Kasten und trägt fest außerhalb des Kastens eine kurze Querstange aus Federstahl mit halbrundem Profil. Auf jedes Ende dieser Querstange, der kurzen Windfangstange, wird zur Verlangsamung des Laufwerkganges auf die gewünschte Geschwindigkeit ein etwa 80 qmm großer Windfang besonderer, ausgeprobter Form geschoben und mit unverlierbarer Schraube an der richtigen Stelle festgeklemmt. Hiermit lassen sich rund 260 bis 135 Meßbandumläufe in der Minute einstellen. Zur Erreichung der kleineren Geschwindigkeiten wird unter die kurze, feste Windfangstange eine 37 cm lange quer durch die Walzenachse bis an einen Ansatz in der Mitte geschoben und festgeklemmt. Diese Stange ist bei Nichtgebrauch im Stativrohr untergebracht und trägt auch die Windfänge bei ihrem Nichtgebrauch; letzteres ist bei der schnellsten Geschwindigkeit der Fall, wo die Windfänge (und die lange Stange) abgenommen sein müssen.

In den Messungen ist das Exposimeter luftzugfrei aufzustellen, da anderenfalls die Windflügel, also die Meßbandumläufe, unregelmäßig beeinflußt werden.

Es lassen sich alle Geschwindigkeiten zwischen 480 und 10 Meßbandumläufe (120 und 2,5 Kurbelumdrehungen) erzielen. Zur Einstellung der festen Punkte 480, 240, 120, 48, 24 und 12 Meßbandumläufe in der Minute, welche den Skalenteilwerten 0,5, 1, 2, 5, 10 und 20 tausendstel Sekunden entsprechen, dient eine Lehre aus Blech, Einstellehre, deren entsprechende Ansätze mit den Skalenteilwert-

Digitized by Google

zahlen 1, 2, 5, 10 und 20 bezeichnet sind. Mit Hilfe dieser Lehre wird das Einstellen einer neuen Geschwindigkeit in einigen Sekunden bewirkt.

Das Meßband wird nicht zwangsläufig, etwa wie die Filme der Kinematographen, von der Triebwalze mitgenommen, sondern nur durch Reibung wie ein Riemen von der Riemenscheibe, und dreht ebenso sogar noch die Walze mit den Windfängen, also mit der Geschwindigkeitsregelung. Hier taucht die Frage auf, ob nicht ein Gleiten des Meßbandes die ganze Meßgenauigkeit hinfällig macht. Das ist nicht der Fall! Es zeigt sich, wenn man die eine Walze festhält und die andere zu drehen sucht, welche überraschend große Reibung verhältnismäßig durch die Stoffbeklebung der Walzen und die kreuzweise Bindung des Meßbandes zwischen ihnen herrscht, trotzdem die Auflage des Meßbandes auf einer Walze nur etwa 3 qcm beträgt.

Den schwierigsten Teil in der Herstellung des ganzen Apparates bildet das Meßband.

Die Anordnung des Meßbandes und der Spiegel darauf wurde schon bei der Auswertung der Messungen besprochen, doch sei noch zu der getroffenen Anordnung der Spiegel bemerkt, daß sich bei ihr zwar die Zahl der unter gleichen Verhältnissen möglichen Spiegel auf fast die Hälfte verringert (es könnte auf jeder Rippe zwischen je zwei Spiegeln noch einer angebracht sein), aber 16 bzw. 15 Spiegel sind für technische Messungen reichlich und wichtiger ist die nun verfügbare doppelte Meßlänge, weil bei Messungen vieler und stark von einander abweichender Geschwindigkeiten sehr zeitsparend. Die 4 Rippen sind aus hartem, 0,2 mm starkem Duraluminiumblech mit ringsherum 2 mm rechtwinklich hoch angebogenem Rande, außen 310 mm lang und 7,5 mm breit. Im Innern dieser U-förmigen Träger befinden sich die kugeligen Spiegel, die etwas niedriger als der Rippenrand und so durch ihn geschützt sind. Die Spiegel aus klarspiegelnd versilberter 0,05 mm starker Kupferfolie bilden eine Kugelschale vom Durchmesser 5,5 und dem Kugeldurchmesser 9 mm, zwei daran befindliche Lappen dienen zum Befestigen auf den Rippen, die dazu 0,2 mm breite Schlitze haben, durch die die Spiegellappen gesteckt und mehrfach umgebogen werden. Zwischen den Spiegeln sind die Rippen so weit als möglich durchbrochen, dadurch wird ihr Gewicht verringert, vor allem aber die Verdeckung der Skala zwischen den Spiegeln beseitigt. Die Verbindung der Rippen geschieht durch 0,3 bis 0,4 mm starke, geklöppelte schwarze Seidenschnüre, die gegen Längenänderung durch wechselnde Feuchtigkeit der Luft imprägniert sind. Zur Befestigung der Schnüre an den Rippen sind in diese Lappen geschnitten, hochgebogen und nach Umschlingen der Schnüre wieder in ihre erste Lage zurückgebogen. Damit sich die Schnüre an den Lappen aus dem dünnen Blech nicht durchscheuern, sind um den Rand der Lappen kreisförmige Wulste angeprägt. Die Bindungen liegen meist unter Spiegeln. An den Enden der Rippen laufen je eine Schnur parallel der Meßbandlaufrichtung, beide bilden den Rand des Meßbandes und geben ihm damit die Führung an den Flanschen der Walzen.

Während ursprünglich angenommen wurde, das Meßband müsse so viele Rippen erhalten, daß mindestens immer eine auf einer Walze aufliege (das Meßband des ersten Exposimeters hat 48 Rippen aus 0,4 mm Magnaliumblech), zeigt es sich als Ergebnis vieler Versuche, daß das Band mit 4 Rippen, ja sogar mit dreien, vollkommen sicher und gleichmäßig läuft. Hierdurch wurde erst der Forderung nach größtmöglicher Leichtigkeit des Meßbandes weitgehendst entsprochen, aber gerade diese Leichtigkeit ermöglichte auch erst wieder, mit so wenigen Rippen auszukommen Die inneren, zwischen den Rippenenden liegenden Bindeschnüre sind kreuzweise an


Digitized by Google

geordnet. Die Bindung erfolgt in einer besonderen Vorrichtung unter Spannung der Schnüre durch Gewichte gleich $^1/_{20}$ ihrer Zerreißfestigkeit. Zur Verbindung der Anfangs- und Endschnüre zu dem endlosen Bande dienen kleine Haken und Ösen mit der Öffnung 0,7 mm, aus 0,25 mm starkem Federstahldraht, die so angeordnet sind, daß eine Verbindungslinie durch sie nicht parallel, sondern schräg zu den Rippen läuft. Damit wird erreicht, daß die Verbindungsglieder, die der einfacheren Herstellung wegen alle zwischen denselben zwei Rippen liegen, nacheinander auf die Walzen auflaufen und nicht hemmend wirken.

Das fertige, mattschwarz lackierte Meßband wiegt mit seinen 62 Spiegeln 7,2 g.

Die Teilung (D.R.P. Nr. 272015) hat als Untergrund guten schwarzen Sammet, der auf eine in den Kasten zwischen die Walzen passende, mit Versteifungsrand und Schienen versehene, ebene Stahlblechplatte geklebt ist. Der Sammet hat sich als billigstes, haltbarstes und am besten zu verarbeitendes Material mit sehr kleinem Reflexionsvermögen erwiesen. Die Teilstriche bestehen aus weißmattierten Duraluminium-Drähten, die Einerstriche 0,20, die für die Fünfer- und Zehnerstriche 0,50 mm Dm. Auch diese Drähte sind nach vielen Versuchen und besonders wegen der Beständigkeit ihrer Färbung als Striche gewählt. Ihr gegenseitiger Abstand und der dicht über dem Sammet senkrecht zur Meßbandlaufrichtung wird durch auf der Stahlgrundplatte befestigte Schienen mit kleinen Schlitzen, in die die Drähte gelegt sind, bewirkt, und um sie stets gerade zu erhalten, wird jeder einzelne durch eine Schraubenfeder gespannt. Dicht über die Skalendrähte sind senkrecht zu ihnen, also parallel zur Meßbandlaufrichtung, Drähte gleich den Zehnerdrähten und in deren Abstand durch Federn gespannt. Die mittelsten beiden dieser Drähte haben einen Abstand von nur $^1/_4$ der andern und kennzeichnen so die Skalenmitte, die andern teilen die Skala zur schnellen Orientierung auf ihr in gleiche Felder, außerdem aber verhindern sie ein Eindringen der Meßbandrippen in die Skalendrähte und deren Beschädigung. Die Zehnerdrähte sind von 1 bis 9 durch weißmattierte Aluminiumzahlen, die an einem Rande der Skala in den Sammet eingelassen sind, beziffert. Zwischen ihnen liegt die drehbare „Zeittrommel“ mit den Zahlen der Skalenteilwerte 0,5 bis 20 (Tausendstel sec.). Diese Zahlen stehen zu denen der Skalenteilbezifferung kopf, so daß Verwechslungen ausgeschlossen sind. Bei Einstellung einer anderen Meßbandgeschwindigkeit ist auch die Zeittrommel einzustellen.

Sämtliche zur Handhabung und Prüfung des Exposimeters sowie zur Ablesung der Meßaufnahmen nötigen Daten sind auf einer an der Rückwand des Exposimeterkastens befestigten Tabelle (Fig. 2, S. 142) vereinigt.

An allen Apparaten mit bewegten Teilen, deren Geschwindigkeiten groß sind, werden letztere von Temperaturänderungen beeinflußt, hauptsächlich durch die Änderung der Konsistenz des Schmiermittels. Dieser Einfluß wächst mit der Geschwindigkeit und ist größer bei gleitender Reibung (Zapfenlagerung) als bei rollender (Kugellager). Das Exposimeter besteht fast ganz, besonders alle seine Lagerungen, Achsen und Gehäuse aus demselben Material, Stahl, und alle Achsen laufen auf Kugeln, aber auch bei seiner größten Geschwindigkeit ist ein Einfluß größerer Temperaturänderungen bemerkbar. Bei den kleineren Geschwindigkeiten, die ja durch Aufsetzen der Windflügel erhalten werden, verschwindet der Reibungswiderstand gegenüber dem Luftwiderstand.

Die Eichung der Exposimeter erfolgt bei 20 Grad Celsius. Für gewöhnliche Messungen ist auch bei der größten Meßbandgeschwindigkeit ein Beobachten der Temperatur unnötig und zwecklos, da einmal der Temperatureinfluß auf die Moment-

Digitized by Google

verschlüsse in demselben Sinne, aber ganz erheblich größer, dann aber der Unregelmäßigkeitsgrad eines Verschlußganges ein vielmal störender ist. Für genaueste Messungen wäre eine Temperaturziffer oder Formel, die das Abhängigkeitsverhältnis zwischen Temperatur- und Geschwindigkeitsänderung angibt, festzustellen, was bei der Herstellung aber meines Wissens bisher auch von Andern noch nicht geschehen ist.

Es ist am Exposimeter nicht möglich, alle beweglichen Teile staubdicht zu verkapseln, und so soll es, wie jeder gute Apparat, beim Nichtgebrauch durch Aufsetzen des dazu gehörigen Schutzkastens vor Staub geschützt werden. Hierzu ist das Exposimeter auf senkrechten Lauf des Meßbandes zu stellen, ev. die lange Windfangstange und die Windflügel abzunehmen, letztere beide auf demselben Ende der langen Windfangstange festzuklemmen und diese in ihr Lagerrohr im Stativ zu stecken, so daß also beim Nichtgebrauch alle losen Teile am Apparat untergebracht sind und nicht verloren gehen können. Damit auch die Rolle am Zuggewicht vor Staub geschützt ist, wird dieses in ein an der Rückwand des Kastens befindliches Lager (Korb) gestellt. Wird das Exposimeter nun wieder gebraucht, so ist es nach Abnahme des Schutzkastens zum Laufen mit seiner größten Geschwindigkeit bereit und mit dieser soll es nach längerem (wochenlangem) Nichtgebrauch erst etwa 5 Minuten laufen, ehe man Messungen vornimmt.

Untersuchungen über psychologisch-physiologische Bisektionsfehler.

Von

P. Labitzke in Königsberg in Pr.

(Fortsetzung von S. 73.)

Die Größenordnung von v ist natürlich dieselbe geblieben wie bei meinen früheren Versuchen. Eine Genauigkeitszunahme ist, wie das Täfelchen S. 72 zeigt, trotzdem ich nunmehr schon längere Zeit beobachtend tätig bin, kaum eingetreten. Bei den kleinen Intervallgrößen ist eine solche zwar in geringerem Grad vorhanden; bei den großen l zeigt sich hingegen sogar eine erhebliche Abnahme der Genauigkeit.

Hinsichtlich der Abhängigkeit der Fehlergrößen vom benutzten Auge zeigt Tabelle I, daß c diesmal für das linke Auge kleiner ist, und zwar bei den kleineren Intervallgrößen ganz erheblich, als für das geübtere (stets von mir beim Beobachten benutzte) rechte Auge beim analogen Versuch; ganz im Gegenteil zu früher, wo diese Erscheinung nicht auftrat, sondern meist in beträchtlichem Grad die umgekehrte. v erweist sich bei horizontaler Halbierung bei den Reihen 1 und 2 als etwa gleich, nur bei den kleineren Intervallen liefert das linke Auge etwas genauere Werte. Bei den später ausgeführten Reihen 7 und 8 liefert hingegen das rechte Auge durchweg genauere Werte, worauf noch unten einzugehen sein wird. Beim vertikalen Halbieren (Reihe 4 und 5) ergibt das linke Auge viel genauere Werte als das rechte, was früher in geringerem Maß auch der Fall war. Jedenfalls ist festzustellen: Hinsichtlich der Größe von c und v verhalten sich die beiden Augen in geringem Grad zeitlich verschieden.

Was die Halbierungsrichtung anlangt, so ergibt das rechte Auge für horizontale und vertikale Halbierung etwa den gleichen Betrag für c, das linke Auge jedoch bei vertikaler Halbierung ein erheblich größeres c als bei horizontaler, während früher wiederum das Gegenteil der Fall war. Was die Genauigkeit anlangt, so liefert


Digitized by Google

das rechte Auge bei horizontaler Halbierung genauere Resultate als bei vertikaler (Reihe 4 verglichen mit 1, 3 und 7), während beim linken Auge v in beiden Fällen dasselbe ist, wenn man das Mittel von Reihe 2 und 8 mit Reihe 5 vergleicht. Eine systematische zeitliche Verschiedenheit im Verhalten der beiden Fehlergrößen ist also auch hinsichtlich horizontaler und vertikaler Halbierung nicht vorhanden.

Betrachtet man nun die Wirkung der beiden Einstellarten auf die Größe von c und v, so liefern die Resultate der Reihen 9 und 10 folgende Ergebnisse. Steht das Reversionsprisma in der Stellung direkt, so wandert ja der Faden im Gesichtsfeld scheinbar von links nach rechts. Da ich nun zu weit rechts einstelle, so überstreicht der Faden die linke Hälfte des Intervalls bis zur wahren Mitte vollkommen und dringt dann von links her in den Bereich ein. Es steht somit nach dem S. 65 Gesagten zu erwarten, daß bei dem schnelleren Einstellen ein größeres c zutage kommt als bei dem vorsichtigen Einstellen; es tritt also im 1. Fall ein größerer Teil des Bereiches zum systematischen Fehler hinzu als im 2. Fall. Steht das Reversionsprisma hingegen in der Stellung „umkehrend", so läuft der Faden nun umgekehrt, also scheinbar von rechts nach links. Infolgedessen dringt er nun von rechts her in den Bereich ein und es wird nun, dem vorigen entgegen, bei dem schnelleren Einstellen ein kleineres c auftreten als bei dem langsamen Einstellen. Um die Versuchsergebnisse daraufhin zu prüfen, sei für jede Art der Einstellung und jede Prismenstellung aus dem ganzen Material c für jede Serie von Beobachtungen gebildet. Es ergibt sich dann nach den Tabellen II und III für den systematischen Fehler in Millimetern ausgedrückt, folgende Tabelle:

	Langsames Einstellen	Schnelles Einstellen
Reversionsprisma direkt . . .	$c = +0{,}0059$ mm	$c = +0{,}0172$ mm
	$+0{,}0110$	0,0148
	$+0{,}0098$	0,0232
	$+0{,}0034$	0,0226
	$+0{,}0034$	0,0210
	$-0{,}0005$	
	$c_m = +0{,}0055$ mm	$c_m = +0{,}0198$ mm
Reversionsprisma umkehrend .	$c = +0{,}0400$ mm	$c = +0{,}0198$ mm
	0,0384	0,0240
	$c_m = +0{,}0392$ mm	$c_m = +0{,}0219$ mm

Die kleine Tabelle bestätigt ohne weiteres schönstens die obigen Ausführungen. Die Tabelle zeigt überdies beim schnellen Einstellen eine größere Konstanz von c über längere Zeiträume als beim langsamen Einstellen, was jedenfalls der günstigen Wirkung der Mechanisierung des Einstellvorgangs im ersteren Fall zuzuschreiben ist.

Die vorher besprochene Wirkung der beiden Einstellarten auf die Größe von c müßte nun bei den c-Werten der Reihen 1—8, die durch Drehung des Reversionsprismas bestimmt sind, durch dessen Wirkung, wie leicht einzusehen ist, kompensiert sein, so daß man hier in beiden Fällen einen gleichen Wert von c erwarten sollte. Tatsächlich zeigt sich nun beim aufmerksamen Einstellen (Reihe 6) ein systematisch kleineres c als beim mechanischen Einstellen (Reihen 3 und 7). Der Unterschied ist allerdings so klein, daß seine Reellität nicht unbedingt als verbürgt angesehen werden kann.

Es sei hier noch ein ungefährer Betrag der Breite des Bereiches abgeleitet. Macht man dazu die später zu begründende Voraussetzung, daß beim schnellen Ein-

Digitized by Google

stellen die Häufungsstelle mit der Mitte des Bereiches zusammenfällt, und daß der größte Fehlerwert nahe dem Rande des Bereiches liegt, so wird dessen doppelter Betrag genähert eine untere Grenze für die Ausdehnung des Bereiches liefern. Der größte Fehlerwert beträgt nun 0,055 Rev. (Reihe 10, Serie 7); somit wäre die Breite des Bereiches etwa 0,11 Rev. = 0,055 mm bei einer Intervallgröße von 2,223 mm, also mindestens $^1/_{40}$ der Intervallgröße. Ohne Rücksicht auf die vergrößernde Wirkung des Mikroskops ergibt sich für diese Werte in Winkelmaß: Intervallgröße 1834″, Breite des Bereichs 46″.

Um die Genauigkeit der Einstellung hinsichtlich der beiden Einstellarten zu prüfen, sei zunächst für die Reihen 9 und 10 aus den Werten v der einzelnen Beobachtungsserien das Mittel genommen. Dann ergibt sich

für langsames Einstellen . . $v = 0{,}0080$ mm,
für schnelles Einstellen . . $v = 0{,}0096$ mm.

v zeigt sich also hier von ungefähr gleicher Größe für beide Reihen; daß v beim schnellen Einstellen einen etwas größeren Wert ergibt als beim langsamen Einstellen, beruht darin, daß die Einstellungsweise im ersteren Fall jedenfalls zu übertrieben nachlässig gewählt war. Vergleicht man ferner das v der Reihe 6 mit den v der bis auf die Einstellweise gleichartigen Reihen, besonders der Reihe 7, so sieht man, daß v bei Reihe 6 erheblich größer ist als bei Reihe 7 und zwar erweist sich diese Zunahme als ziemlich regelmäßig laufende Funktion der Intervallgröße. Das oben (S. 65) erwartete Resultat, daß mechanisches schnelles Einstellen, das sehr rasch und wenig anstrengend vor sich geht, gleiche oder höhere Genauigkeit liefert als das überaus sorgfältige und infolgedessen ermüdende und zeitraubende aufmerksame, langsame Einstellen, findet also jetzt Bestätigung. Es ist also aus inneren Ursachen heraus eine Grenze der Genauigkeit gegeben, die bereits bei Aufwendung eines geringeren Grades von Sorgfalt erreicht wird; durch Weitertreiben der Sorgfalt ist eine weitere Steigerung der Genauigkeit nicht erreicht worden.

Hinsichtlich der zeitlichen Änderungen innerhalb des Zeitraums der neuen Beobachtungsreihen lehrt der Vergleich der c in den gleichartigen Reihen 1, 3 und 7, daß c, wie auch früher, während der Beobachtungsperiode für das rechte Auge langsam gewachsen ist, und zwar für alle l um etwa den gleichen Betrag. Eine Abhängigkeit von der Intervallgröße ist also für das rechte Auge nicht erkennbar; beim linken Auge zeigt sich jedoch dieses Wachstum nur für die kleinen l. Die beiden Augen erweisen sich also den zeitlichen Schwankungen von c gegenüber als verschieden, auch bezüglich der Abhängigkeit derselben von der Intervallgröße.

Bezüglich der Genauigkeit zeigt sich aus denselben Reihen, daß v während des Zeitraums der Beobachtungsreihen für das fast stets benutzte rechte Auge doch eine merkbare Abnahme erfahren hat, von dem man jedoch bei dem unregelmäßigen Verlauf der v-Kurven ebenfalls keine Abhängigkeit von l feststellen kann. Für das nur bei zwei Reihen benutzte linke Auge hingegen zeigt sich eher eine Zunahme von v, also eine Abnahme der Genauigkeit. Es läßt sich hieraus jedenfalls ein Einfluß der Übung erkennen. Jedoch darf man aus diesen Resultaten nicht den Schluß ziehen, als wäre die Übung direkt dem mehr benutzten Auge eigentümlich. Der Einfluß desselben ist wohl nur als ein mittelbarer anzusehen, indem der Beobachter durch den plötzlichen Gebrauch des selten benutzten Auges gewissermaßen in der bisher gleichförmigen Reaktionswirkung gestört wird. Denn bei der nach längeren Zeiträumen eintretenden Übung spielt nach Wundt die psychophysische Mechanisierung des Vor-

Digitized by Google

gangs, daneben aber auch die mit der Wiederholung der Reaktionen zunehmende Verdeutlichung des Reaktionsmotivs eine wichtige Rolle.

Die Reihen 9 und 10 zeigen keinen Einfluß einer Übung. Dies wird daher rühren, daß diese Reihen am Schluß mehrmonatigen täglichen Einstellens erhalten wurden, so daß schon die obere Grenze einer psychophysischen Mechanisierung des Vorgangs erreicht war.

Auch bei meinen früheren Beobachtungen war kaum ein Einfluß der Übung festzustellen; dies lag jedoch vermutlich daran, daß ich damals noch ganz am Anfang meiner Beobachtungstätigkeit stand und der damalige Zeitraum zu kurz war, als daß die Übung auf die Konformität der Reaktionen hätte einen Einfluß gewinnen können.

Was die ungefähre Größenordnung der zeitlichen Änderungen während des gesamten Zeitraums der jetzigen Beobachtungen betrifft, so beträgt diese nach Tabelle I bei c etwa eine Einheit der 3., bei v eine solche der 4. Dezimale.

2. Verlauf der Fehlerkurven. Was den Verlauf der Fehlerkurven, d. h. die Abhängigkeit der Fehlergrößen c und v von der Intervallgröße l anlangt, so läßt die oben gefundene Tatsache, daß die Größenordnung der Fehler für jede Intervallgröße dieselbe geblieben ist, vermuten, daß ebenfalls der Kurvenverlauf gegen früher im wesentlichen der gleiche geblieben ist. Auch der Verlauf der c/l und v/l bestätigt diese Annahme.

Wesentlich ist jedoch, daß diesmal bis herab zu Intervallgrößen von der Ordnung der Fadendicke, also bis zu sehr kleinen l, beobachtet wurde. Es zeigt sich hier zunächst, daß sich die Fehlerwerte für die kleinen Intervallgrößen der Reihe 3 sehr gut an die der gleichartigen Reihen 7 und 1 für die größeren l anfügen. Bei meiner früheren mikroskopischen Reihe hatte sich c/l[1]) und v als konstant erwiesen; die erstere Tatsache hatte ich damals schon[2]) dadurch erklärt, daß ich nicht bis zu genügend kleinen l hatte hinuntergehen können, in welchem Falle die Konstanz von c/l unbedingt hätte verschwinden müssen, wie ja auch die zum Vergleich herangezogene Beobachtungsreihe von Hartmann[3]) zeigte. Die Konstanz von v[4]) hatte ich mit der verhältnismäßig geringen Verschiedenheit der l begründet und dadurch, daß der sehr wenig glatte Verlauf der v-Kurve ein etwa vorhandenes geringes Ansteigen von v mit wachsendem l verdeckt. Die neuen Reihen, speziell die Reihe 3, zeigen jedoch, daß sich jetzt c für die ganz kleinen Intervalle rasch der Null nähert, was folglich auch für c/l der Fall ist. In der Tat ist also nun die Konstanz von c/l geschwunden. Daß dies zum Teil auch die Reihen mit den größeren l zeigen, dürfte ein Einfluß der Übung sein, wodurch nun größere Feinheiten hervortreten. Nachdem c/l bei den ganz kleinen Intervallen ein rasches Ansteigen zeigt, tritt nach einem Maximum für die größeren l ein langsames Fallen ein, was sich stellenweise für Intervalle derselben Größe auch bei den früheren makroskopischen Versuchen zeigte.

Nun seien nochmals die eben erwähnten Hartmannschen Beobachtungen zum Vergleich herangezogen, die bei nahe derselben Vergrößerung ausgeführt sind, wie meine Reihe 3. In der folgenden kleinen Tabelle habe ich aus der Hartmannschen Tabelle die l und c/l für das mit meiner Reihe 3 gemeinsam beobachtete Intervallgrößengebiet für meine l-Werte interpoliert. Der Verlauf von c/l, wie auch die Größenordnung der Fehlerwerte, erweist sich nun, im Gegensatz zu früher, von kleinen,

[1]) (1a), S. 57 [2]) (1a), S. 66. [3]) Astron. Nachr., 155, 96. [4]) (1a), S. 72, 73.

Digitized by Google

zwischen zwei verschiedenen Beobachtern nicht verwunderlichen Verschiedenheiten abgesehen, bis herab zu den ganz kleinen Intervallgrößen als übereinstimmend.

l	c	c/l
0,015	0,0001	0,004
34	4	10
42	5	13
57	10	16
69	13	19
77	16	20
101	25	24

Was die Einstellungsgenauigkeit betrifft, so zeigt sich auch hier, nachdem anfänglich mit abnehmendem l ein starkes Wachsen von v/l einsetzt, schließlich v/l bei den kleinen l als mit l abnehmend. Es ergibt sich also, daß bei den kleinen Intervallen auch die relative Genauigkeit, und zwar für systematischen und zufälligen Fehler, eine wesentlich höhere ist als bei größeren Intervallen. Was den Verlauf von v selbst anlangt, so zeigt sich auch schon ohne Berücksichtigung der ganz kleinen Intervalle, daß v mit l zunimmt. Daß dies jetzt im Gegensatz zu früher klar hervortritt, ist auch ohne Zweifel dem Einfluß der Übung zuzuschreiben, der dieses früher verdeckte Steigen nun klar zutage treten läßt.

Bei den größeren Intervallen, etwa von 0,2 mm an, ist eine Konstanz von v/l angedeutet; von hier ab hat also anscheinend das Webersche Gesetz Gültigkeit. Bemerkenswert ist, daß jetzt diese Konstanz schon bei kleinerem l eintritt als bei meinen früheren Beobachtungen, wo sie sich frühestens von etwa $l = 20$ bis $l = 30$ an zeigte, während sie also jetzt unter Berücksichtigung der Vergrößerung $V' = 30$ des Mikroskops schon bei $l = 6$ auftritt, was eine Folge gesteigerter Übung sein könnte.

Die von Volkmann[1]) theoretisch geforderte Konstanz von v bei ganz kleinem l ist bei meinen Beobachtungen nicht erkennbar.

3. Die Wirkung des Reversionsprismas als Fehlerquelle. Es folge nun eine kleine kritische Untersuchung über die Verwendung des Reversionsprismas zur Elimination von c. Bezeichnet man das Ende des Bereiches, welches der Mitte des Intervalls zugewandt ist, resp. diese selbst enthält, als das innere, das entgegengesetzte als das äußere, so dringt der Faden in beiden um 180° verschiedenen Lagen I und II der Platte bei direkter Prismenstellung vom inneren Ende her, bei umgekehrter Stellung vom äußeren her in den Bereich ein und wird infolgedessen, zum mindesten beim langsamen Einstellen, auch in diesem Teil des Bereiches bleiben. Nach dem oben Gesagten ist daher zu erwarten, daß bei der Stellung „direkt" d des Prismas ein kleineres c auftritt als bei der Stellung „umkehrend" u, worauf ich schon in meiner früheren Arbeit[2]) hinwies. Ein Blick auf die Tabelle auf S. 71 bestätigt diese Annahme für Reihe 9 (vorsichtiges Einstellen); für das schnelle Einstellen (Reihe 10) erweisen sich dagegen die c in beiden Fällen als nahe gleich, woraus sich vermuten läßt, daß in diesem Fall der Meßfaden bis etwa in die Mitte des Bereiches vorgedrungen ist.

Bei den Reihen 1—8 muß zur Prüfung dieser Erscheinung ein anderer Weg eingeschlagen werden, da hier der Wert der wahren Mitte nicht ohne weiteres zu ermitteln ist. Da bei diesen Reihen jedoch bei beiden Prismenstellungen d und u in

[1]) Physiologische Untersuchungen im Gebiet der Optik, S. 117.

[2]) (1a), S. 34 und 79.

Digitized by Google

den beiden Lagen I und II der Platte beobachtet wurde, so muß nach der obigen Erläuterung, falls sich die eben besprochene Erscheinung auch bei diesen Reihen zeigt, das c, welches nur aus den Beobachtungen in den Lagen I und II der Platte in der Prismenstellung d errechnet ist, kleiner sein als das ebenso erhaltene aus der Prismenstellung u. Zwischen den beiden so erhaltenen Werten von c muß dann derjenige liegen, der lediglich aus Pointierungen in den beiden Prismenstellungen berechnet ist, wie leicht einzusehen ist. Die Verhältnisse können sich ändern, wenn der Faden nicht am häufigsten in der zuerst getroffenen Intervallhälfte Halt macht; es können dann entweder die umgekehrten Verhältnisse, wie eben beschrieben, oder auch Gleichheit der c in den drei Fällen eintreten.

Um den systematischen Fehler aus den Beobachtungsergebnissen in Lage I und II für eine Prismenstellung zu erhalten, wurden die wegen der Schraubenfehler korrigierten Mittel aller Einstellungen auf jede Linie in Lage I von den entsprechenden von 100,0 Rev. subtrahierten Werten in Lage II abgezogen. Diese Werte II — I würden bei Abwesenheit des systematischen Fehlers für alle Linien, abgesehen von zufälligen Fehlern, denselben Betrag haben. Zieht man das Mittel aller dieser Werte von dem Wert II — I für jede Linie ab, so enthalten die übrigbleibenden Fehler q einerseits, da ihre Summe ja auf Null gebracht ist, eine additive Konstante a_0, andrerseits aber auch durch die Anwesenheit des systematischen Fehlers dessen doppelten Betrag; somit ist

$$q = 2c + a_0,$$

also

$$c = \tfrac{1}{2}(q - a_0). \qquad 1)$$

In meiner früheren Arbeit hatte ich gefunden, daß sich c durch die Form darstellen läßt:

$$c = a + b\,l + d l^2, \qquad 2)$$

wo a, b und d Konstanten sind. Somit wird:

$$q/2 = a_0 + \tfrac{1}{2}a + b\,l + d l^2.$$

Die Ausgleichung der Werte $q/2$ nach dieser Form liefert $a_0 + \frac{1}{2}a$, b und d.

Die Werte der Tabelle I habe ich ebenfalls nach der Form 2) ausgeglichen, welche Resultate später folgen. Der so erhaltene Wert a wird unbedenklich auch hier als gültig angenommen werden können. Er stellt ja den systematischen Fehler für die Intervallgröße Null dar und dieser wird bei beiden Eliminationsarten denselben Wert haben müssen; jedenfalls ist durch diese Annahme keine Entstellung der Resultate zu befürchten. Nehmen wir diese Werte a hier als bekannt vorweg, so erhalten wir aus $a_0 + \frac{1}{2}a$ den Wert a_0 und damit nach 1) den beobachteten, und nach 2) den berechneten Wert von c. Diese Werte, sowie den Unterschied Beobachtung minus Rechnung in Einheiten der 4. Dezimale des Millimeters, nebst den Werten der Konstanten $a_0 + \frac{1}{2}a$, b und d gibt Tabelle IV für einzelne Reihen, nämlich 1, 2, 6, 7 und 8, und zwar in den ersten Spalten für die Stellung d, in den letzten für die Stellung u des Reversionsprismas.

Die Werte $B - R$ der Tabelle IV zeigen zunächst, daß die Form 2) die Beobachtungen vollkommen befriedigend darstellt. Betrachtet man nun die Ergebnisse für die gleichartigen Reihen 1 und 7 in Tabellen I und IV, so zeigt sich, daß tatsächlich die lediglich durch Drehung des Prismas erhaltenen Werte von c zwischen denen nur durch Umkehrung der Platte je aus den beiden Prismenstellungen er-

Digitized by Google

haltenen liegt oder ebenfalls durch den Kreuzungspunkt geht, was, um es gleich vorweg zu nehmen, auch für alle übrigen Reihen stets der Fall ist. Für Reihe 1 zeigt sich ferner aus Tabelle IV, daß der Wert von c für die Prismenstellung d bei den kleinen Intervallgrößen größer ist als für die Prismenstellung u, während bei den größeren Intervallen das Umgekehrte der Fall ist. Das heißt also, daß bei den kleinen Intervallen der Faden meist bis in die zweite Bereichhälfte vordrang, während er bei den größeren Intervallen schon in der ersten Hälfte Halt machte. Genau umgekehrt ist das Verhalten der c bei Reihe 7; bis auf das größte Intervall ist hier c für die Stellung d kleiner als für die Stellung u, der Faden ist also meist in der ersten Bereichhälfte geblieben. Hierin ist ohne Zweifel ein Einfluß der Übung zu suchen, indem durch die Mechanisierung des Vorgangs und die Verdeutlichung des

Tabelle IV.

Nr.	l	d			u		
		$c_{beob.}$	$c_{ber.}$	$B-R$	$c_{beob.}$	$c_{ber.}$	$B-R$
1	0,035	+11	+12	−1	+13	+9	+4
h, r, m	046	15	15	0	13	11	+2
	057	20	17	+3	11	13	−2
	080	15	21	−6	10	17	−7
	106	25	26	−1	18	21	−3
	122	33	29	+4	28	24	+4
	180	38	37	+1	35	33	+2
	210	43	40	+3	43	39	+4
	248	—	—	—	43	45	−2
	279	40	46	−6	48	50	−2
	314	50	47	+3	58	57	+1
		$a+\frac{1}{2}a_0=-0{,}00249$			$a+\frac{1}{2}a_0=-0{,}00254$		
		$b=+0{,}0243,\ d=-0{,}0337$			$b=+0{,}0163,\ d=+0{,}00187$		
2	0,035	−6	−4	−2	+6	+1	+5
h, l, m	46	0	−3	+3	3	3	0
	57	+2	−2	+4	3	5	−2
	80	−2	−1	−1	9	9	0
	106	−2	+2	−4	5	12	−7
	122	−3	4	−7	13	14	−1
	180	+15	11	+4	24	20	+4
	210	21	16	+5	26	22	+4
	248	24	23	+1	19	23	−4
	279	26	29	−3	26	23	+3
	314	36	36	0	19	22	−3
		$a+\frac{1}{2}a_0=-0{,}00157$			$a+\frac{1}{2}a_0=-0{,}00201$		
		$b=+0{,}00404,\ d=+0{,}0300$			$b=+0{,}0218,\ d=-0{,}0412$		
6	0,011	+4	+3	+1	+6	+5	+1
h, r, a	044	12	10	+2	17	15	+2
	058	12	13	−1	21	19	+2
	080	17	17	0	16	24	−8
	110	17	23	−6	26	31	−5
	174	27	30	−3	51	43	+8
	210	47	33	+14	51	49	+2
	248	29	34	−5	51	52	−1
	314	34	34	0	54	55	−1
		$a+\frac{1}{2}a_0=-0{,}00220$			$a+\frac{1}{2}a_0=-0{,}00321$		
		$b=+0{,}0251,\ d=-0{,}0456$			$b=+0.0333,\ d=-0{,}0507$		

Digitized by Google

Tabelle IV (Fortsetzung).

Nr.	l	d			u		
		$c_{beob.}$	$c_{ber.}$	$B-R$	$c_{beob.}$	$c_{ber.}$	$B-R$
7	0,044	+ 12	+ 14	− 2	+ 19	+ 20	− 1
h, r, m	058	19	17	+ 2	25	24	+ 1
	080	19	21	− 2	27	30	− 3
	110	29	26	+ 3	37	36	+ 1
	174	32	35	− 3	52	46	+ 6
	210	49	40	+ 9	50	48	+ 2
	248	35	44	− 9	40	49	− 9
	314	52	49	+ 3	47	44	+ 3
		$a + \frac{1}{2} a_0 = -0{,}00258$			$a + \frac{1}{2} a_0 = -0{,}00318$		
		$b = +0{,}0214$, $d = -0{,}0233$			$b = +0{,}0369$, $d = -0{,}0780$		
8	0,044	− 5	0	− 5	+ 9	+ 10	− 1
h, l, m	058	+ 8	0	+ 8	14	12	+ 2
	080	2	+ 1	+ 1	14	15	− 1
	110	0	2	− 2	16	18	− 2
	174	0	8	− 8	24	23	+ 1
	210	20	13	+ 7	24	24	0
	248	22	20	+ 2	26	24	+ 2
	314	32	34	− 2	19	20	− 1
		$a + \frac{1}{2} a_0 = -0{,}00092$			$a + \frac{1}{2} a_0 = -0{,}00167$		
		$b = -0{,}00334$, $d = +0{,}0442$			$b = +0{,}0207$, $d = -0{,}0469$		

Reaktionsmotivs eine allgemein kürzere Reaktionszeit eintrat, was auch die Abnahme von v erklärt. Merkwürdig mutet allerdings der Umstand an, daß hier das größte Intervall, wie auch entsprechend bei den gleichartigen Reihen 2 und 8, abweichendes Verhalten zeigt; vermutlich war die Fadenbewegung, angeregt durch den größeren Spielraum, etwas zu rasch, wodurch diese Wirkung eintreten könnte.

Bei der Reihe 6 hingegen für das langsame Einstellen liegt durchweg der Wert von c in der Prismenstellung d unter dem in der Stellung u, und zwar wächst der Abstand der beiden Kurven ziemlich regelmäßig mit der Intervallgröße; d. h. also, daß der Faden beim langsamen Einstellen stets in der ersten Bereichhälfte geblieben ist.

Die verschiedene Art der Bestimmung von c führt also zu verschiedenen Werten des systematischen Fehlers, insonderheit ist auf die Größe von c verschiedene Bewegungsrichtung des Fadens von Einfluß, ebenso wie auch die Art der Einstellung. Daraus folgt das beachtenswerte Resultat, daß das Mittel aus den Ablesungen in den beiden Stellungen eines Reversionsprismas, welche Stellungen entgegengesetzte Bewegungsrichtung des Meßfadens hervorbringen, nicht notwendig die wahre Intervallmitte liefern muß, sondern einen neuen, mit der Intervallgröße wachsenden systematischen Fehler F hervorbringen kann.

Für die Reihe 6 sei der Fehler F, d. i. also der Abstand der mit dem Reversionsprisma ermittelten Mitte von der wahren Intervallmitte, aus der Tabelle IV berechnet. Wie eine kleine Überlegung zeigt, ergibt er sich als die halbe Differenz der Werte c, die durch die Plattendrehung in der Stellung d bzw. u des Prismas erhalten wurden. Die folgende kleine Tabelle gibt diese Werte F, ferner das Verhältnis F/l, sowie außerdem die abgerundeten Beträge von l und F in Bogenmaß; letzteres sind hier die Winkel, unter denen diese Werte in 250 mm Entfernung, der deutlichen Sehweite, gesehen werden. Aus der Tabelle erkennt man, daß F sich als ziemlich regelmäßig

Digitized by Google

laufende Funktion der Intervallgröße ergibt und daß sein Betrag, beiläufig etwa $^1/_4$ des systematischen Fehlers c, verglichen mit Tabelle I die Messungsgenauigkeit merkbar übersteigt.

l mm	F mm	F/l mm	l	F
0,011	— 0,0001	0,009	9″	0,1″
044	2	6	36	0,2
058	4	8	48	0,4
080	0	0	66	0,0
110	4	4	91	0,4
174	12	7	144	1,0
210	2	1	173	0,2
248	11	4	204	0,9
314	10	3	259	0,8

Das Zahlenmaterial der Tabelle II oder auch der Tabelle von S. 71 ergibt für Reihe 9 (langsames Einstellen) für die beiden Tage, an denen das Prisma in beiden Stellungen benutzt wurde, für F die beiden Werte — 0,0158 und 0,0159 mm. Um die Verhältnisse noch besser übersehen zu können, seien wieder die wahre Intervallgröße und einzelne Fehlergrößen noch in Bogenmaß angeführt; es ist dann $l = 1834''$ $F = 13''$ und $F/l = 0{,}007$, während vergleichsweise der mittlere Fehler des Endresultats aus einer Beobachtungsserie, wie sie die Tabelle II resp. III gibt, 2″ beträgt. Der Betrag des Wertes F/l läßt die Übereinstimmung mit dem obigen Wert F der ungefähren Größenordnung nach erkennen.

Es sei schließlich noch darauf aufmerksam gemacht, daß durch Drehung der Platte um 180° statt Benutzung des Reversionsprismas dieser neue systematische Fehler, welcher die Verwendung des Prismas mindestens als bedenklich erscheinen läßt, vermieden wird.

4. Die Fehlerverteilung. Nun sei die Verteilung der Fehler hinsichtlich ihrer Größe untersucht. Bei einzelnen Reihen zeigt sich die schon früher festgestellte[1]) und mit Beispielen belegte Erscheinung einer derartigen zeitlichen Änderung von c, daß die Ablesungen der Schraubentrommel vielfach eine Zeitlang fast denselben Wert ergeben, um dann plötzlich oder allmählich einen anderen, wieder eine Zeitlang nahe konstanten Wert anzunehmen. Diese Erscheinung muß darin beruhen, daß sozusagen der Zustand des Beobachters eine Zeitlang unverändert bleibt, um sich dann mehr oder weniger ruckweise zu ändern. Diese Beobachtungen können dann zwar eigentlich nicht als völlig unabhängig voneinander angesehen werden. Es ist jedoch anzunehmen, daß bei größerer Anzahl der Beobachtungen diese Schwankungen sich wie zufällige Fehler verhalten und im Mittel fortheben. Auch bei der Untersuchung über Fehlerverteilung wird man diese Annahme machen müssen, da, wollte man etwa an eine Ausmerzung solcher Stellen denken, Gefahr bestünde, Willkürlichkeiten in das Verfahren hineinzubringen.

Es sei nun an erster Stelle die oben (S. 66) erwähnte Unsymmetrie diskutiert. Bei den Serien 1, 2 und 6 des langsamen Einstellens (Reihe 9) scheint eine, allerdings kleine, Unsymmetrie in dem oben erwähnten Sinn vorhanden zu sein. Bei den vielen Beobachtungen der Serie 5 zeigt sich aber genau das Umgekehrte, so daß in Serie 8 (alle Beobachtungen zusammengefaßt) keine Unsymmetrie mehr auftritt; ihr

[1]) (1a), S. 67 und 68.


Digitized by Google

Auftreten kann also hier nicht unbedingt als verbürgt angesehen werden. Beim schnellen Einstellen (Reihe 10) hat bald der positive, bald der negative Kurvenast größere Ausdehnung, so daß sich also bei diesen Beobachtungen anscheinend keinerlei Unsymmetrie zeigt. Das Gaußsche Gesetz kann somit in dieser Hinsicht unbedenklich als gültig angenommen werden.

Größe der Fehler	Schnelles Einstellen *a*		Langsames Einstellen *b*		Schnelles Einstellen *c*	
	+	−	+	−	+	−
0— 2	2	0	1,5	1,5	0	2
3— 5	2	2	1	4	2	5
6— 8	1	3	6	2	3	1
9—11	3	0	1	2	2	1
12—14	0	1	2	1	1	1
15—17	0	2	0	0	0	1
18—20	4	0	1	2	1	4
21—23	3	1	1	0	2	2
24—26	4	0	1	1	1	
27—29	0	2	1	0	0	
30—32	2	0		0	1	
33—35	2	1		0		
36—38		0		0		
39—41		2		1		
42—44		1				
45—47		0				
48—50		0				
51—53		1				
54—56		0				
57—59		0				
60—62		1				
v	0,0258		0,0149		0,0152	

Ein wesentlich anderes Verhalten hinsichtlich dieser Unsymmetrie zeigen die Beobachtungsreihen, die ich zur Untersuchung sensoriellen und muskulären Einstellens angestellt hatte. Abgesehen von den hierzu getroffenen Abänderungen sind diese Reihen wesensgleich mit den früheren. Da sie nun, wie schon erwähnt, für die Unterscheidung einer sensoriellen von einer muskulären Einstellungsart ein negatives Resultat ergaben, habe ich von ihrer ausführlichen Mitteilung Abstand genommen, und gebe in der beigegebenen Tabelle nur einen Ausschnitt der Resultate. Wie nun diese Tabelle deutlich zeigt, erstreckt sich bei diesen Reihen, im Gegensatz zu vorher, der negative Kurvenast der Fehleranzahl mitunter bedeutend weiter und zeigt auch einen anderen Abfall als der positive Ast. Hier tritt also die zur Rede stehende Unsymmetrie im oben dargelegten Sinn ausgeprägt hervor. Ich vermute, daß dies daran liegt, daß diese Beobachtungen nach mehr als einjähriger Pause nach den vorherigen angestellt sind, und mir so die Übung fehlte, zumal es sich um neuartige Einstellungen handelte. In der Tat hatte ich selbst beim Einstellen das Gefühl der Unsicherheit, sozusagen ein Gefühl unsicheren Tastens und konnte mich nur schwer eingewöhnen. Das spiegelt auch der am Fuß der Tabelle angegebene Betrag des mittleren Fehlers wieder; am ersten Beobachtungstag (*a*) dieser Reihen ist er erheblich größer als am zweiten (*b*), wo er etwa den früheren Wert wieder angenommen hat. Am zweiten Tag hat aber

Digitized by Google

auch diese Unsymmetrie erheblich abgenommen, wenn sie nicht ganz verschwunden ist, wie der Vergleich mit dem dritten Beobachtungstag (c) zeigt. So zeigen also diese Beobachtungen, daß eine Unsymmetrie wohl möglich ist, und zwar scheint mangelhafte Übung für ihr Auftreten günstiger zu sein. In speziellen Fällen könnte also ein unsymmetrisches Fehlergesetz die Fehlerverteilung besser darstellen als ein symmetrisches Gesetz.

Die Tabellen II und III, besonders die Serien mit großem n, sowie auch die Figuren, zeigen, daß der Abfall beider Äste der Fehlerverteilungskurve, des negativen wie des positiven, derselbe ist; eine systematische Abweichung ist nicht erkennbar. Ebensowenig läßt sich bei den Reihen, wo die Anzahl der Fehler nach Gauß berechnet wurde, eine systematische Abweichung des beobachteten vom berechneten Wert erkennen. Höchstens zeigen die Figuren eine schwache Andeutung, daß beim langsamen Einstellen sich die beobachtete Kurve bei der Nullstelle etwas höher türmt und bei den großen Fehlern sich etwas weiter erstreckt als die berechnete Kurve, während beim schnellen Einstellen die entgegengesetzte Erscheinung angedeutet ist. Diese Abweichungen sind aber sehr gering, und können nicht als verbürgt angesehen werden. Da also kein bemerkenswertes systematisches Abweichen der Fehlerkurve von der Gaußschen Kurve festgestellt wurde, so kann man das Resultat festhalten, daß die Fehlerverteilung bei dieser Art Einstellungen im allgemeinen nach dem Gaußschen Gesetz geschieht. Daraus folgt also ebenfalls, daß die beiden Einstellarten, die langsame und die schnelle, hinsichtlich der Fehlerverteilung dasselbe Gesetz befolgen. Die zufälligen Abweichungen sind jedoch trotz der verhältnismäßig großen Anzahl der Beobachtungen mitunter ziemlich erheblich, wie Figuren und Tabellen zeigen. Beim schnellen Einstellen schwanken die Kurven jedoch weniger als beim langsamen Einstellen; die Mechanisierung des Einstellprozesses scheint also auch glättend auf den Kurvenverlauf einzuwirken. Es kann dies als eine Bestätigung der von Merkel[1]) ausgesprochenen Ansicht aufgefaßt werden, daß das Gaußsche Gesetz eher ein solches unserer Empfindungen als zufälliger Fehler, also mehr äußerer Einflüsse, ist; denn gerade beim automatischen Vorgang, wo äußere Einflüsse weniger einwirken, tritt das Gaußsche Gesetz reiner zutage. Eine auffällige Erscheinung im Abfall der Fehlerkurven, die sich wieder ganz besonders beim langsamen Einstellen und hier in erster Linie bei Serie 5 zeigt, ist die Tatsache, daß ganz kleine Fehler weniger häufig auftreten als die etwas im Betrag größeren. Da die Erscheinung aber nicht durchweg auftritt und beim schnellen Einstellen fast ganz fehlt, so kann sie wohl auch zufällig sein.

Es sei nun die Gültigkeit der Gaußschen Theorie noch an zwei weiteren Kriterien untersucht. Bedeutet r den wahrscheinlichen Fehler einer Einstellung, so muß bekanntlich die Anzahl der Fehler, die zwischen $+r$ und $-r$ resp. außerhalb dieser Grenzen liegen, gleich $n/2$ sein, wenn n die Anzahl der Beobachtungen ist. In der nachfolgenden Tabelle ist für die einzelnen Serien der Reihen 9 und 10 die Anzahl N der Fehler zwischen $-r$ und $+r$, sowie die halbe Anzahl der Fehlerwerte überhaupt gegeben.

	(9) Langsames Einstellen										(10) Schnelles Einstellen								
	1a	1b	1c	2a	2b	2c	5	6	Alle Serien 8	Mittel	3a	3b	3c	4a	4b	4c	7	Alle Serien 9	Mittel
N	19	33	28	17	28	30	76	9	238	30	21	41	34	20	37	27	81	260	37,3
$n/2$	20	30	25	20	30	30	75	10	240	30	25	40	29,5	20	40	30	75	259,5	37,1

[1]) *Philosophische Studien* 9. *S. 180.*

Digitized by Google

Man sieht, daß auch dieses Kriterium gut die Anwendbarkeit der Gaußschen Theorie bestätigt.

Bedeutet nun d den durchschnittlichen Fehler, so lautet das zweite Kriterium

$$v/d = \sqrt{\pi/2} = 1,253.$$

Langsames Einstellen

	1a	1b	1c	2a	2b	2c	5	6	Alle Serien 8
v/d	1,257	1,333	1,353	1,225	1,233	1,238	1,252	1,244	1,265
$B-R$	+4	+80	+100	−28	−20	−15	−1	−9	+12

Schnelles Einstellen

	3a	3b	3c	4a	4b	4c	7	Alle Serien 9
v/d	1,232	1,257	1,332	1,273	1,240	1,225	1,271	1,261
$B-R$	−21	+22	+79	+20	−13	−28	+18	+8

Die vorstehende kleine Tabelle gibt v/d nach den Tabellen II und III sowie den Unterschied Beobachtung minus Rechnung. Auch hier ist das Resultat für die Gaußsche Theorie günstig, indem die $B-R$ ein systematisches Verhalten mit irgendwelcher Sicherheit nicht erkennen lassen.

Von Interesse wird schließlich noch ein Vergleich meiner Beobachtungen mit den oben erwähnten von Merkel hinsichtlich der Fehlerverteilung sein. Dieser hat sich für seine eigenen, die Bestimmung des ebenunmerklichen Unterschiedes bezweckenden Beobachtungen einen Apparat konstruiert, bei dem auch Mikrometerschrauben, die aber nur 0,001 mm ablesen lassen, zur Einstellung dienen. Merkel fixiert scharf die beiden nebeneinanderliegenden Reize mit beiden Augen aus deutlicher Sehweite, wobei der eine durch langsames Drehen der Mikrometerschraube ganz allmählich dem anderen in bezug auf die Größe gleich gemacht wurde. Sobald die Gleichheit erreicht schien, wurde die Drehung unterbrochen. Die Art der Versuchsausführung ist also der meinen ähnlich. Eine Abweichung liegt jedoch darin, daß Merkel keine Halbierungen, sondern Verdoppelungen ausführt: einer vorgegebenen Normaldistanz N soll eine zweite danebenliegende Distanz mit verschiebbarem Endpunkt gleich gemacht werden. Dennoch bleibt der Einstellvorgang seinem Wesen nach der gleiche. Man wird aber, um die Beobachtungen von Merkel mit den meinigen zu vergleichen, bei jenem nur die halbe Intervallgröße der meinigen nehmen, da dann die von Merkel verdoppelte Strecke die Länge der von mir zu halbierenden hat. Die scheinbare Länge meines Intervalls betrug bei Zugrundelegung einer deutlichen Sehweite von 25 cm etwa 13 mm; ich gebe daher von Merkel a. f. S. die Resultate für die Intervallgrößen 5 und 10 mm. Merkel faßt positive und negative Fehler zusammen, untersucht also den Kurvenabfall nicht für jede Seite gesondert.

In der nachfolgenden Tabelle, die der Merkelschen Arbeit entnommen ist[1]), stehen in der ersten Kolonne die Grenzen für die Beträge der Fehler, in den beiden anderen Kolonnen gibt R die berechnete, B die beobachtete Anzahl der Fehler. Die eingeklammerte Zahl am Kopf der Tabelle bedeutet die Anzahl der Fehler, die kleiner

[1]) a. a. O., S. 180.

Digitized by Google

als der wahrscheinliche Fehler sind; die Anzahl der Einstellungen beträgt bei jeder Reihe 100. Es sei bei dieser Gelegenheit darauf hingewiesen, daß der wahrscheinliche Fehler bei mir nur etwa den 10. Teil des von Merkel beträgt; dies wird in erster Linie dem gegenüber dem Meßmikroskop unvollkommeneren Apparat Merkels zuzuschreiben sein, in zweiter Linie auch der vermutlich geringeren Übung von Merkel.

$l = 5$ mm				$l = 10$ mm			
(53)	R	B	$B-R$	(47)	R	B	$B-R$
0,00—0,02	33	38	+ 5	0,00—0,04	37	38	+ 1
0,02—0,04	28	32	+ 4	0,04—0,08	29	25	— 4
0,04—0,06	19	9	— 10	0,08—0,12	19	25	+ 6
0,06—0,08	11	11	0	0,12—0,16	10	9	— 1
0,08—0,10	6	5	— 1	0,16—0,20	4	2	— 2
0,10—0,12	2	4	+ 2	0,20—0,24	1	1	0
0,12—0,14	1	1	0				

Um meine Beobachtungen zum Vergleich heranzuziehen, war es am bequemsten zwei solche Reihen zu kombinieren, bei der die Anzahl der Einstellungen zusammen 100 (wie bei Merkel) betrug. Ich wählte hierzu die Serien 2a und 2c beim langsamen und 4a und 4c beim schnellen Einstellen und faßte sie in die gleiche Anzahl von Gruppen zusammen wie Merkel. Sie lieferten folgende Tabelle bei derselben Anordnung wie die obige.

Langsames Einstellen				Schnelles Einstellen			
(48)	R	B	$B-R$	(46)	R	B	$B-R$
0,000—0,007	33	30	— 3	0,000—0,008	31	33	+ 2
0,007—0,014	28	31	+ 3	0,008—0,016	27	18	— 9
0,014—0,021	19	20	+ 1	0,016—0,024	20	24	+ 4
0,021—0,028	11	8	— 3	0,024—0,032	12	16	+ 4
0,028—0,035	6	8	+ 2	0,032—0,040	6	6	0
0,035—0,042	2	2	0	0,040—0,048	3	2	— 1
0,042—0,049	1	1	0	0,048—0,056	1	1	0

Die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung ist, wie die Tabelle zeigt, im Verhältnis nur wenig enger als bei Merkel; die größere Genauigkeit meiner Einstellungen ist also hierauf ohne Einfluß geblieben; das Fehlerintervall selbst hat sich natürlich erheblich verengert. Es ist jedoch anzunehmen, daß z. B. durch noch weitere Mechanisierung des Einstellvorgangs ein engerer Anschluß an die Gaußsche Kurve erreicht werden dürfte.

§ 4. Die Darstellung der Beobachtungen durch Interpolationsformeln.

1. Die vorliegenden Fehlerfunktionen. Bei der rechnerischen Darstellung der Beobachtungen in ihrer Abhängigkeit von der Intervallgröße l kann es sich, wie ich schon früher[1]) begründete, nicht darum handeln, die psycho-physischen Vorgänge mathematisch zu erfassen, sondern darum, für die Abhängigkeit der Fehlergrößen c und v von l Interpolationsformeln aufzustellen. Die Vorgänge zur Entstehung des systematischen Fehlers c sind überhaupt noch zu wenig geklärt, um für die Aufstellung eines mathematischen Gesetzes einen Erfolg zu versprechen. Obgleich nun zwar hinsichtlich des sog. variablen Fehlers v hier ungleich mehr erreicht ist, reicht dieses

[1]) (1a), S. 43.

Digitized by Google

für den in Rede stehenden Zweck ebenfalls bei weitem nicht aus. Aus diesen und den früher angeführten Gründen kann es sich also zunächst nur um die rechnerische Darstellung spezieller Beobachtungsreihen handeln, resp. darum vorliegende Reihen bequemer untereinander vergleichbar zu machen. Da ich es jedoch für die hier zu diskutierenden Fragen für ratsamer hielt, diese im wesentlichen an den direkten Beobachtungsergebnissen zu untersuchen, so wird es sich an dieser Stelle hauptsächlich nur noch um die Prüfung von Formeln auf ihre Anwendbarkeit hin handeln. Aus den gleichen Erwägungen heraus werde ich auch keine tabellarische Übersicht der rechnerischen Darstellung sämtlicher Beobachtungsreihen geben, sondern die Anwendbarkeit der Fehlerfunktionen resp. das Gegenteil nur mit einzelnen typischen Beispielen belegen.

Für den systematischen Fehler liegen bisher zwei Fehlerfunktionen vor. Erstens die von Hartmann[1]) eingeführte Hyperbel in der Form

$$l^2 = ac^2 + bc,$$

wo a und b Konstanten sind. Zweitens, wie schon oben erwähnt, die von mir angegebene Parabel[2]) in der Form

$$c = a + bl + dl^2,$$

wo a, b, d wieder Konstanten bedeuten. Beide Formeln erwiesen sich früher schon infolge des engen Anschmiegens der Parabel an die Hyperbel als völlig gleichwertig in den Darstellungen der Beobachtungen. Die von mir benutzte Parabel hat, als bloße Interpolationsformel betrachtet, den Vorzug vereinfachter Rechenarbeit, während, wenn man die beiden Formen nach eventueller theoretischer Bedeutung wertet, der Hartmannschen Form erhöhte Bedeutung zukommt.

Für den sog. variablen Fehler v liegen für kleine Intervallgrößen vier Fehlerfunktionen vor. Zunächst wieder die beiden ebengenannten, die sich auch früher schon als zur rechnerischen Darstellung sehr gut verwendbar erwiesen. Das über beide Formeln eben Gesagte gilt auch hier. Besonders zeigt sich jetzt bei v die allgemeinere theoretische Bedeutung der Hartmannschen Form, indem für sehr großes l die Parabel die tatsächlichen Verhältnisse nicht richtig darstellen kann, während die Hyperbel, wie es das Weber-Fechnersche Gesetz fordert, die Annäherung von v/l an einen festen Grenzwert liefert. Von den zwei weiteren, auf mehr theoretischen Erwägungen aufgebauten Fehlerfunktionen rührt die eine von Reinhertz[3]) her, nämlich

$$v = a\sqrt{l},$$

die zweite von Fechner

$$v = \sqrt{a^2 + b^2 l^2},$$

wo a und b wieder Konstanten sind. Beide Formen habe ich in meiner früheren Arbeit (1 a)[4]) eingehender besprochen.

2. Die rechnerische Darstellung der Beobachtungen. Von sämtlichen Beobachtungsreihen habe ich nun nicht nur die v-Werte, sondern auch die c nach jeder dieser vier Funktionen ausgeglichen, um deren Anwendbarkeit ganz allgemein zu prüfen. In Tabelle V gebe ich, wie eben begründet, nur einen Teil dieser Resultate wieder, und zwar die nach diesen Funktionen berechneten Werte c und v, nebst dem Unter-

---

1) *Astron. Nachr.* **155**. *S. 86; 1901;* auch (1a), S. 8 und 44.

2) (1a), S. 44 ff.

3) Nova Acta d. Ksl. Leop.-Carol. deutsch. Akad. der Naturforscher, **LXII**, Nr. 2; Auszug: *Zeitschr. f. Vermess. 1893/94,* Referat: (1 a), S. 15 ff., 50, 73, 74.

4) (1 a), S. 24/25.

Digitized by Google

schied Beobachtung minus Rechnung in Einheiten der 4. Dezimale des mm für die Reihen 1, 3, 6 und 7. Von der Wiedergabe der übrigen Resultate kann umsomehr abgesehen werden, als sie nichts wesentlich Verschiedenes aussagen. Tabelle V wird ohne nähere Erläuterung verständlich sein. In Tabelle VI sind für dieselben Reihen die durch die Ausgleichung erhaltenen Werte der Konstanten der vier Fehlerfunktionen für c und v gegeben.

Tabelle V.

Berechnete Werte von c und v.

Nr.	l	$\left.\begin{matrix}c\\v\end{matrix}\right\} = a + bl + dl^2$				$l^2 = a\left\{\begin{matrix}c^2\\v^2\end{matrix}\right. + b\left\{\begin{matrix}c\\v\end{matrix}\right.$				$\left.\begin{matrix}c\\v\end{matrix}\right\} = a\sqrt{l}$				$\left.\begin{matrix}c^2\\v^2\end{matrix}\right\} = a^2 + b^2 l^2$			
		c_{ber}	$B-R$	v_{ber}	$B-R$	c_{ber}	$B-R$	v_{ber}	$B-R$	c_{ber}	$B-R$	v_{ber}	$B-R$	c_{ber}	$B-R$	v_{ber}	$B-R$
	mm																
1	0,035	11	+1	5,4	−0,9	11	+1	2,9	+1,6	15	−3	3,9	+0,6	14	−2	6,0	−1,5
hr	,046	13	0	5,6	+0,1	12	+1	3,3	+2,4	17	−4	4,5	+1,2	14	−1	6,1	−0,4
m	,057	15	0	5,7	−0,4	14	+1	3,8	+1,5	19	−4	5,0	+0,3	15	±0	6,2	−0,9
	,080	19	−7	6,1	+1,4	18	−6	4,7	+2,8	22	−10	5,9	+1,6	18	−6	6,4	+1,1
	,106	23	0	6,6	+1,3	22	+1	5,7	+2,2	26	−3	6,8	+1,1	23	+1	6,7	+1,2
	,122	26	+4	6,8	−1,0	24	+6	6,4	−0,6	28	+2	7,3	−1,3	24	+6	6,9	−1,1
	,180	35	+2	8,1	+0,5	33	+4	8,8	−0,2	34	+3	8,9	−0,3	33	+4	7,9	+0,7
	,210	39	+3	8,8	−3,7	38	+4	10,1	−5,0	36	+6	9,6	−4,5	37	+5	8,5	−3,4
	,248	44	−4	9,7	+4,0	44	−4	11,7	+2,0	39	+1	10,4	+3,3	43	−3	9,4	+4,3
	,279	47	−3	10,6	−0,8	49	−5	13,1	−3,3	42	+2	11,1	−1,3	48	−4	10,1	−0,3
	,314	51	+3	11,6	−0,4	55	−1	14,5	−3,3	44	+10	11,7	−0,5	54	±0	10,9	+0,3
3	0,015	2	−1	2,7	−1,3	2	−1	1,2	+0,2	9	−8	2,4	−1,0	4	−3	3,6	−2,2
hr	,034	9	+1	4,0	+1,7	8	+2	2,3	+3,4	14	−4	3,6	+2,1	9	+1	3,9	+1,8
m	,042	12	+2	4,4	+0,4	10	+4	2,8	+2,0	16	−2	4,0	+0,8	11	+3	4,0	+0,8
	,057	17	0	5,2	−0,7	14	+3	3,7	+0,8	18	−1	4,6	−0,1	15	+2	4,4	+0,1
	,069	21	−2	5,6	+1,2	17	+2	4,4	+2,4	20	−1	5,1	+1,7	18	+1	4,8	+2,0
	,077	23	−4	5,8	−0,4	21	−2	4,8	+0,6	21	−2	5,4	0	20	−1	5,0	+0,4
	,101	28	+1	6,3	−1,0	27	+2	6,2	−0,9	24	+5	6,2	−0,9	26	+3	5,8	−0,5
	,115	30	0	6,3	−1,5	31	−1	7,0	−2,2	26	+4	6,6	−1,8	30	0	6,4	−1,6
	,128	32	+3	6,2	+1,3	34	+1	7,8	−0,3	27	+8	7,0	+0,5	33	+2	6,9	+0,6
	,145	33	−2	5,9	+0,3	39	−8	8,8	−2,6	29	+2	7,4	−1,2	38	−7	7,5	−1,3
6	0,011	3	+3	3,6	+0,1	6	0	4,2	−0,5	8	−2	2,6	+1,1	12	−6	6,4	−2,7
hr	,044	12	0	5,7	−0,1	10	+2	4,8	+0,8	16	−4	5,2	+0,4	13	−1	6,6	−1,0
a	,058	15	+1	6,5	−0,6	13	+3	5,2	+0,7	18	−2	6,0	−0,1	15	+1	6,8	−0,9
	,080	19	−6	7,7	+1,9	16	−3	5,9	+3,7	21	−8	7,1	+2,5	17	−4	7,0	+2,6
	,110	25	−4	9,0	−1,8	21	0	7,0	+0,2	25	−4	8,3	−1,1	21	0	7,6	−0,4
	,174	35	+3	10,9	+0,1	31	+7	9,4	+1,6	32	+6	10,4	+0,6	30	+8	9,0	+2,0
	,210	39	+7	11,5	−0,5	37	+9	10,8	+0,2	35	+11	11,4	−0,4	35	+11	9,9	+1,1
	,248	42	−2	11,6	+1,7	43	−3	12,3	+1,0	38	+2	12,4	+0,9	41	−1	11,0	+2,3
	,314	45	−2	10,9	−0,8	53	−10	15,0	−4,9	42	+1	14,0	−3,9	51	−8	13,0	−2,9
7	0,044	17	−1	4,7	+0,5	19	−3	4,7	+0,5	19	−3	3,7	+1,5	23	−7	5,5	−0,3
hr	,058	21	+1	5,0	−0,3	20	+2	4,8	−0,1	22	0	4,3	+0,4	24	−2	5,5	−0,8
m	,080	26	−2	5,6	+0,6	23	+1	5,1	+1,1	26	−2	5,0	+1,2	26	−2	5,7	+0,5
	,110	31	+2	6,3	−1,3	26	+7	5,6	−0,6	31	+2	5,9	−0,9	28	+5	5,9	−0,9
	,174	41	+1	7,4	+0,7	36	+6	6,8	+1,3	38	+4	7,4	+0,7	36	+6	6,7	+1,4
	,210	45	+5	7,8	−0,4	42	+8	7,5	−0,1	42	+8	8,1	−0,7	40	+10	7,2	+0,2
	,248	47	−9	8,1	+0,6	48	−10	8,3	+0,4	46	−8	8,8	−0,1	45	−7	7,8	+0,9
	,314	48	+3	8,1	−0,2	58	−7	9,7	−1,8	52	−1	9,9	−0,2	55	−4	9,0	−1,1

Digitized by Google

Tabelle VI.

Nr.	$\left.\begin{matrix}c\\v\end{matrix}\right\} = a + bl + dl^2$			$l^2 = a\left\{\begin{matrix}c^2\\v^2\end{matrix}\right. + b\left\{\begin{matrix}c\\v\end{matrix}\right.$		$\left.\begin{matrix}c\\v\end{matrix}\right\} = a\sqrt{l}$	$\left.\begin{matrix}c^2\\v^2\end{matrix}\right\} = a^2 + b^2 l^2$	
	a	b	d	a	b	a	a^2	b^2
				1) für c				
1	+ 0,000 370	+ 0,0200	− 0,0159	+ 3 893	− 3,18	+ 0,007 92	+ 0,000 0015	+ 0,000 281
3	− 518	470	− ,142	1 191	+ 0,636	764	00	681
6	+ 051	268	− ,0404	3 873	− 2,29	757	13	247
7	+ 560	289	− ,0490	4 116	− 6,63	920	50	251
				2) für v				
1	+ 0,000 493	+ 0,00123	+ 0,00287	+ 55 067	− 12,0	+ 0,002 09	+ 0,000 000 355	+ 0,000 008 5
3	145	874	− 0,393	29 208	− 1,8	195	127	021 1
6	280	728	− 0,150	60 971	− 25,3	249	415	112 9
7	325	346	− 0,0610	193 081	− 86,2	177	290	005 2

Tabelle V bestätigt zunächst das auch früher schon gefundene Resultat, daß die Hartmannsche Hyperbel und die von mir eingeführte Parabel die Fehlerwerte von c gleich gut darstellen; für die v-Werte ergibt sich sogar gelegentlich eine Überlegenheit der Parabel. Auch für die kleinen Intervallgrößen (Reihe 3) gelten diese Feststellungen, wie noch ganz besonders hervorgehoben werden soll.

Die Reinhertzsche Form erweist sich für die Darstelluug des systematischen Fehlers als ungeeignet; die Werte $B - R$ der Tabelle V zeigen nicht das Verhalten zufälliger Fehler, die berechnete Kurve zeigt also eine andere Krümmung als die beobachtete. Den Fehler v vermag zwar die Reinhertzsche Form, im Gegensatz zu meinen früheren Beobachtungen[1]), erheblich besser darzustellen als den systematischen Fehler, jedoch zeigt sie sich der Parabel gegenüber als erheblich weniger an die beobachteten Werte anschmiegend. Als großer Vorteil steht dem aber die Tatsache gegenüber, daß die Reinhertzsche Form nur eine Konstante enthält, was einen sehr bequemen Vergleich mehrerer Reihen gestattet. Daß die Reinhertzsche Form bei kleineren l (0,3 — 0,4 mm) versagt, hat dieser schon selbst festgestellt[2]). Ähnlich ergibt sich aus den Beobachtungen von Noetzli mit größeren Intervallen, daß die in Rede stehende Form bei mittleren Intervallgrößen bis $l = 5$ mm für die deutliche Sehweite von 25 cm anwendbar ist.

Die Fechnersche Form ergibt für c und v eine befriedigende Darstellung der Beobachtungen, wenn auch das Anschmiegen der nach ihr berechneten Kurven an die Beobachtungen etwas weniger eng ist als bei der Parabel.

Die neuen Ergebnisse, wie auch die früheren, führen also zu dem Schluß, daß der von mir eingeführten Parabel als Interpolationsformel die allgemeinste Anwendbarkeit und größte Schärfe von den kleinsten Intervallen von der Ordnung der Fadendicke bis hinauf zu den größten zukommt. Der Hartmannschen Hyperbel ist sie neben der einfacheren Rechenarbeit auch durch die gelegentlich etwas bessere Darstellung der v bei kleinen Intervallgrößen überlegen, während letztere, wie die beiden anderen Formen, allerdings theoretisch wertvoller sind. Die Fechnersche und Reinhertzsche Form sind jedoch praktisch auch wohl anwendbar, abgesehen allerdings von der letzteren für den systematischen Fehler.

---

[1]) (1 a), S. 50.

[2]) *Zeitschr. f. Vermess.* **26.** S. 111. 1897.

Digitized by Google

Tabelle VI zeigt, daß die Konstante d meiner Parabelform negativ ist, mit Ausnahme für Reihe 1 für die v-Werte, wo sie aber sehr klein ist. Man kann also sagen, daß die Parabel in allen Fällen für die c- und v-Kurven konkave Krümmung zur l-Achse zeigt oder allenfalls in den Grenzfall der Geraden übergeht. Gegenüber den früheren makroskopischen Versuchen liegt hierin also doch eine Änderung des Einstellungsgesetzes, da früher diese Kurven entweder zur l-Achse konvex waren oder auch in den Grenzfall der Geraden übergegangen waren. Man muß also hiernach das Einstellungsgesetz für kleine und große Intervalle als verschieden ansehen. Das deutet nun aber sehr wahrscheinlich darauf hin, daß auch der Einstellvorgang an sich für solche Intervalle ein verschiedener ist, womit die gleiche Vermutung, die ich schon oben (S. 66) begründete, bestätigt wird. Dieses widerspricht allerdings dem in meiner früheren Arbeit[3]) gefundenen, gerade entgegengesetzten Resultat. Da jedoch dieses letztere nur auf dem Material einer Reihe aufgebaut ist, die zudem auch schon die Möglichkeit einer Abweichung in sich birgt, so wird man das neue Resultat als das maßgebende ansehen müssen.

Ähnlich findet Noetzli eine Änderung der Fehlerfunktion von kleinem zu großem l, und zwar gibt er hierfür eine präzise Angabe, die sich wohl aber für gewöhnlich nicht so scharf zu erkennen geben wird, nämlich $l = 2—3$ mm bei der deutlichen Sehweite von 25 cm. Als Ursache für diese Änderung des Schätzungsvorgangs bezeichnet Noetzli ebenfalls den Übergang vom Sehen mit fixiertem Blick zu dem mit bewegtem Auge.

Tabelle VI kann man nun noch daraufhin prüfen, ob sich etwa von den Konstanten der Formeln eine derselben für alle Reihen als konstant erweist, sodaß die Annahme naheläge, daß hier eine in der Natur begründete Konstante vorliegt. Ein Vorhandensein einer solchen Konstanz weist jedoch Tabelle VI anscheinend nicht auf, ebensowenig wie die entsprechende Tabelle IV meiner früheren Arbeit (1a); insonderheit zeigt sich keine Konstanz der Konstanten a der Fechnerschen Form, von der dieser selbst eine mit der Breite der Netzhautelemente zusammenhängende Konstanz für möglich gehalten hat. Natürlich ist dabei noch zu berücksichtigen, daß für eine sichere derartige Entscheidung das Material einer größeren Anzahl von Beobachtern herangezogen werden muß. Jedoch macht Noetzli ebenfalls darauf aufmerksam, daß sich aus seinen Versuchen mit bloßem Auge (wie nebenbei auch aus meinen Versuchen) ein so kleiner Wert dieser von Fechner als Volkmannsche Konstante mit V bezeichneten Größe ergibt, daß diese physiologische Erklärung auf Widerspruch stieße. Außerdem müßten, wie Noetzli weiter ganz richtig meint, da V sich bei zunehmender Übung ändert, auch die Durchmesser der Netzhautelemente variieren, was innerhalb kurzer Zeiträume als unwahrscheinlich anzusehen ist. Die reale Existenz der Volkmannschen Konstanten dürfte somit also sehr in Frage gestellt sein.

Zusammenstellung der Hauptresultate.

Die wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind:

1. Der bei der Bisektion eines Intervalls auftretende systematische Fehler c weist gegenüber meinen früheren Beobachtungen weder in der Richtung, noch in seiner ungefähren Größenordnung eine zeitliche Änderung auf. Ich verlege also unverändert unabhängig vom benutzten Auge und den sonstigen variierten Einstellungsbedingungen

---

[3]) (1a), S. 65, 66.

Digitized by Google

die Intervallmitte beim Halbieren in horizontaler Richtung zu weit nach rechts, bzw. zu weit nach oben bei dem in vertikaler Richtung.

2. Die Verschiedenheiten in der Größe von c und v, dem mittleren Fehler einer Einstellung, zwischen den beiden Augen und zwischen verschiedenen Halbierungsrichtungen besitzen für mich hinsichtlich der Zeit kein irgendwie systematisches Verhalten.

3. Schnelles, mechanisches Einstellen liefert gleiche oder auch größere Genauigkeit als langsames, aufmerksames Einstellen. Das erstere, weniger anstrengende und weniger zeitraubende Verfahren ist daher, neben anderen Vorteilen, dem letzteren überlegen. Die Ursachen hierzu sind psychologisch-physiologischer Natur; sie scheinen ein Weitertreiben der Genauigkeit zu hindern.

4. Die Größe von c ist für die beiden genannten Einstellarten verschieden.

5. Die beiden Arten der Elimination des systematischen Fehlers c (Messung in den beiden um 180^0 verschiedenen Lagen der Platte, resp. in den beiden um 90^0 verschiedenen Stellungen eines Reversionsprismas) liefern für c verschieden große Werte, ebensowie auch für die Intervallmitte; und zwar liefert das Reversionsprisma schon in seinen beiden Stellungen infolge der in ihnen entgegengesetzten Fadenbewegung verschiedene Werte von c und somit einen von der wahren Intervallmitte abweichenden Wert. Hierdurch tritt ein, ebenfalls mit der Intervallgröße wachsender, gegenüber der Messungsgenauigkeit wohl in Betracht kommender, neuer systematischer Fehler auf, der jedoch bei der anderen Eliminationsart (Drehung der Platte) vermieden wird, womit sich diese als die überlegenere erweist.

6. Die Verteilung der Einzeleinstellungen hinsichtlich ihrer Größe läßt sich für beide Einstellarten im allgemeinen durch das Gaußsche Fehlergesetz darstellen. In speziellen Fällen ist jedoch eine Unsymmetrie hinsichtlich des positiven und negativen Kurvenastes angedeutet; gelegentlich kann also ein unsymmetrisches Gesetz die Fehlerverteilung besser darstellen.

7. Für die rechnerische Darstellung der Abhängigkeit der Fehlerwerte c und v von der Intervallgröße l existieren vier Fehlerfunktionen, nämlich von Hartmann, Fechner, Reinhertz und dem Verfasser. Während die von Reinhertz sich für c als nicht anwendbar erweist, und für v nur innerhalb gewisser Grenzen der l, haben die anderen Formen allgemeine Verwendbarkeit. Jedoch besitzen die Hartmannsche Form und die des Verfassers die größte Schärfe in der Darstellung der Beobachtungen; während die erstere Form (Hyperbel) theoretisch wertvoller ist, bietet die letztere Parabel den Vorzug vereinfachter Rechenarbeit.

8. Für den sog. variablen Fehler v erhält das Webersche Gesetz, etwa von der scheinbaren Intervallgröße $l = 6$ mm an, Geltung; die hierdurch bedingte Konstanz von v/l trat bei meinen früheren Versuchen, wohl infolge geringerer Übung, erst bei viel größeren Intervallen ein.

9. Für kleine Intervalle (von der Ordnung der Fadendicke bis zu etwa 10 mm) scheint ein anderes Einstellungsgesetz angedeutet zu sein als für größere Intervalle, was vermutlich durch die mit l zunehmende Augenbewegung verursacht ist.

10. Es wird der Versuch gemacht, durch theoretische Überlegungen in das Wesen des Einstellvorgangs einzudringen.


Digitized by Google

Das umgekehrte Spektrum und die Spektralanalyse.

Von
Prof. Dr. **A. Kirschmann** in Leipzig.

In meiner Abhandlung über „Das umgekehrte Spektrum und seine Komplementärverhältnisse“ *(Physikal. Zeitschr. 18. S. 195—205. 1917)* habe ich dargetan, daß jeder Ort eines mittelst Spaltes oder sonstiger ausgedehnter Lichtquelle erzeugten Spektrums nicht eine einzige Wellenlänge, sondern eine Superposition zahlreicher Wellenlängen enthält, von denen die größte und die kleinste sich auch bei geringster Spaltweite noch um Milliarden von Schwingungen pro Sec. unterscheiden. Man kann daher auch, bei der heutigen Kenntnis der physischen Vorgänge des Lichtes, nicht wissen, ob die Wellenlänge selbst oder der Modus der Superposition von Wellenlängen für die Farbe verantwortlich ist; und die herrschende Ansicht, daß die „Farbe“, d. h. die Qualität der farbigen Lichtempfindung, eine eindeutige Funktion der Wellenlänge sei, ist schon aus dem Grunde unrichtig, daß man jede Farbe auf drei ganz verschiedene Arten erzeugen kann, nämlich:

1. durch Wahl einer beschränkten Spektralregion,
2. durch Mischung zweier oder mehrerer getrennter Regionen,
3. durch das ganze Spektrum unter Weglassung einer beschränkten Region.

Der Spalt ist schon eine verwickelte optische „Maschine“. Die einfache ist die undurchsichtige Kante, der Halbspalt, der je nach seiner Lage zur brechenden Kante des Prismas entweder ein gelbrotes oder ein blauviolettes Spektrum erzeugt. Die beiden Halbspalten lassen sich auf zwei verschiedene Arten kombinieren, wobei das eine Mal ein durchsichtiges Rechteck auf undurchsichtigem, und das andere Mal ein undurchsichtiges Rechteck auf durchsichtigem Grunde entsteht. Gebraucht man die erste Kombination, d. i. den positiven Spalt, so entsteht das gewöhnliche Spektrum, das bei genügender Enge des Spaltes auch die grünen Farben, nicht aber deren Gegenfarben zeigt. Wendet man dagegen die andere, den negativen Spalt, d. i. das undurchsichtige Rechteck auf durchsichtigem Grunde an, so entsteht das umgekehrte oder negative Spektrum, das von einer gewissen Beschränkung der Spaltweite an auch die im gewöhnlichen Spektrum fehlenden purpurnen Farbentöne, nicht aber die komplementären grünen zeigt. Wenn man unter der physischen Reinheit eines Spektralteiles den Grad der dort herrschenden Beschränkung der Spaltbilder-Superposition versteht, dann ist das gewöhnliche Spektrum an seinen Enden am reinsten, das umgekehrte dagegen in der Mitte, in seinem purpurnen Teile. Der Grad der physischen Reinheit hat aber direkt nichts mit der Reinheit, d. i. der Sättigung der Farbenempfindung zu tun. Die physische Reinheit der Farbe scheint, wie auch Ostwald lehrt, mehr von der Abwesenheit von Spektralregionen als von der Isolierung solcher abhängig zu sein; zum mindesten in gewissen Fällen. Darum erscheinen die Farben des umgekehrten Spektrums ebenso rein und gesättigt wie die des gewöhnlichen; beide aber zeigen ihre vollste Sättigung nur bei einer weder zu großen noch zu geringen Spaltweite. Zu psychologischen Untersuchungen über den Komplementarismus und über die in den beiden Spektren fehlenden Qualitäten (Purpur bzw. Grün) kann man daher praktisch nur mittlere Spaltweiten verwenden[1]). Neuere,

[1]) Eine, durch die Firma E. Zimmermann, Leipzig, ausgeführte kombinierte Spalteinrichtung, die gestattet, das gewöhnliche und das umgekehrte Spektrum, auf dieselbe Skala bezogen, neben-



der rein physikalischen Seite dienende Versuche mit engeren negativen Spalten haben aber zu Resultaten geführt, die die bisher von den Physikern ganz vernachlässigten Probleme des umgekehrten Spektrums in ein ganz neues Stadium rücken. Es hat sich nämlich bei meinen Versuchen gezeigt, daß man das umgekehrte Spektrum gerade so wie das gewöhnliche zur spektralanalytischen Untersuchung benutzen kann. Wählt man als negativen Spalt einen feinen Draht von $^1/_{20}$ bis $^1/_{10}$ mm Dicke, dann ist von dem umgekehrten Spektrum nur noch ein schwacher farbiger Schimmer zu sehen, und bei noch geringerer Dicke sinkt dasselbe ganz unter die Intensitätsschwelle für Farben herab. Daß es aber physisch dennoch vorhanden ist, läßt sich am schwach leuchtenden Bunsenbrenner leicht zeigen. Die charakteristischen Linien der spektralanalytisch reagierenden Substanzen erscheinen nämlich im umgekehrten Spektrum ebenso deutlich und mit derselben Schärfe wie bei gleichweitem positiven Spalte im gewöhnlichen Spektrum. Ich habe bei meinen Versuchen als negativen Spalt ein Haar benutzt, das auf einer mit rechteckigem Ausschnitt versehenen Platte befestigt, vor der, von der gewöhnlichen Spaltvorrichtung befreiten, leeren Kollimatoröffnung des Spektroskops angebracht wurde. Die Linien von Na, K, Li, Cs, Th, Rb usw. erschienen deutlich im umgekehrten Spektrum, und zwar farbig, aber dunkel auf hellem Grunde und genau an derselben Stelle der Skala wie die positiven Linien eines zum Vergleich daneben bereitgehaltenen gewöhnlichen Spektrums. Wenn nur eine Linie vorhanden ist, so erscheint sie in der Komplementärfarbe der positiven, so z. B. die Natriumlinie dunkelblau, die Thalliumlinie dunkelpurpurrot. Dabei ist selbstverständlich vorausgesetzt, daß die Bunsenflamme nicht völlig lichtlos ist. Ist sie dies aber, dann muß die dunkle Linie schwarz erscheinen. Verwendet man breite negative Spalte, so erscheinen im umgekehrten Spektrum anstatt der Linien entsprechend breite aber scharf abgegrenzte (eventuell sich überdeckende) dunkle, aber intensiv gefärbte Flächen. Die Farbenqualität dieser Linien und Flächen ist ein um so komplizierteres Mischprodukt, je größer die Anzahl der in Frage kommenden entsprechenden positiven Linien im gewöhnlichen Spektrum ist. Es dürfte sich lohnen, hierüber eine weitere Untersuchung anzustellen, und ich hoffe, später darüber Genaueres berichten zu können. Da ein Haar, verglichen mit den feinsten Spektrometerspalten, immer noch verhältnismäßig dick ist, so vermag man noch genauere Lokalisation zu erzielen, wenn man als negativen Spalt einen Spinnfaden (wie es Herr Prof. Pulfrich am Gitterspektroskop tut) oder einen ganz feinen Metallfaden verwendet. Jede positive Linie ist eine Superposition von Spaltbildern; sie muß daher stets um ein geringes breiter sein als das einfache Spaltbild. Ebenso kann jede dunkle Linie des negativen Spektrums als eine Superposition von Schatten des negativen Spaltes (also des Haares oder Spinnfadens usw.) aufgefaßt werden und muß sich infolge der Verhältnisse von Irradiation und Halbschattenbildung usw. als etwas schmäler als der Spalt selbst erweisen. Bei feineren Spalten zeigen sich auch im umgekehrten Spektrum die Natriumlinie oder die gelbe Linie der Quecksilberlampe als Doppellinien.

---

einander zu beobachten (sowohl am Spektroskop wie mit Projcktionsapparat verwendbar), habe ich auf dem Leipziger Psychologenkongreß, bei Gelegenheit meines Vortrages über die Verwendung des umgekehrten Spektrums bei der Bestimmung der neutralen Stellen der dichromatischen Farbenblinden, demonstriert. Die Weiten des positiven und negativen Spaltes sind unabhängig voneinander mikrometrisch variierbar, und die beiden Spektra können auch noch (für den Fall abweichender Komplementärverhältnisse) gegeneinander verschoben werden.


Digitized by Google

Ein besonders interessantes Verhalten zeigen die Gasspektra der Geislerschen Röhren. Stellt man eine durch Induktionsstrom zum Leuchten gebrachte Helium- oder Wasserstoffröhre senkrecht vor der, von der gewöhnlichen Spaltvorrichtung befreiten, leeren Kollimatoröffnung auf, dann wirkt der dünne leuchtende Faden gleichzeitig als Lichtquelle und als weiter Spalt und erzeugt ein ganz grobes Linienspektrum in Form von hellen, aber unscharf begrenzten Banden, deren Breite von der Dicke des Leuchtfadens und dessen Entfernung von der Kollimatorlinse abhängt. Versieht man nun die Kollimatoröffnung mit dem erwähnten, aus einem Haar- oder Spinnfaden bestehenden negativen Spalt, so zeigt bei richtiger Einstellung jede der farbigen Banden eine scharfe dunkle Linie, und zwar genau an derselben Stelle der Skala, wo bei engem positivem Spalte die positive Linie liegt. Man hat jetzt gewissermaßen ein grobes positives Spektrum als Leuchthintergrund für ein feines umgekehrtes, dessen Linien, die hier die gänzliche Abwesenheit der entsprechenden Wellenlängen anzeigen, schwarz sein müssen. Es ist vorauszusehen, daß das umgekehrte Spektrum mit seinen dunklen Linien der Spektralanalyse noch wertvolle Dienste leisten wird, und zwar besonders in Fällen von ausgedehnteren, aber lichtschwachen Objekten — ich denke hauptsächlich an coelestische, wie unauflösbare Sternhaufen, echte und planetarische Nebel usw. — deren geringe Intensität eine starke Verengerung des positiven Spaltes nicht verträgt. Man wird in solchen Fällen mit Vorteil einen bilateral verstellbaren Spalt mit ganz feinem feststehenden Zentralfaden verwenden, da sich die Lokalisierung durch die dunklen Linien des umgekehrten Spektrums als ungleich genauer erweisen dürfte, als die in solchen Fällen durch die positiven Linien zu erreichende. Dabei wird das Vorhandensein der scharfen dunklen Linien geradezu als Kriterium dienen können für die Entscheidung der Frage, ob ein Linien- oder ein Bandenspektrum vorliegt.

Referate.

Fortschritte in Strahlungsmessungen.

(Ein neuer Pyrheliograph.)

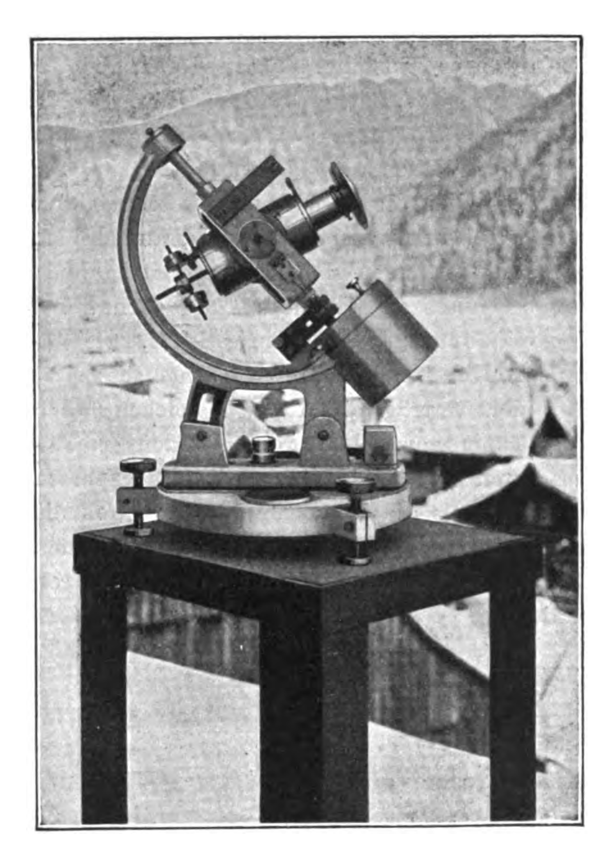
Von C. Dorno. *Meteorolog. Zeitschr.* **39.** *S. 303. 1922.*

Der Verf. beschreibt unter Anfügung eines sehr umfassenden Beobachtungsmaterials ein Instrument, welches die dem Michelsonschen Aktinometer und dem Angströmschen Pyrheliometer zugrunde liegenden Prinzipien in sich vereinigt. Leider ist aus der beigegebenen Gesamtansicht (Figur) die innere Konstruktion des Instrumentes, welches nach Dornos Angaben von Dr. R. Thilenius in Darmstadt durchkonstruiert wurde, nur wenig ersichtlich, so daß die Beschreibung nicht ganz befriedigend ausfällt.

Die Polarachse ruht mit kugelförmigen Zapfen in zylindrischen Lagern eines Breitenlimbus von kreuzförmigem Querschnitt, welcher in den Grenzen 35 und 65 Grad mittelst einer am Rand angreifenden Klemmung verstellbar ist. Am unteren Ende ist er zu einer Konsole ausgebildet. Diese trägt das mit Minutenzifferblatt ausgestaltete Uhrwerk und die mit Schiefer isolierten Schleiffedern aus Hartkupfer, deren Kontaktstellen mit 0,2 mm starker Feingoldauflage plattiert sind. Auch die von einem über das untere Polarachsenende geschobenen Elfenbeinring getragenen Schleifringe sind aus Elektrolytkupfer mit einer 0,2 mm starken Feingoldauflage hergestellt, so daß zusätzliche Thermokräfte nur verschwindend klein bleiben. Die Ableitungsdrähte der Säule sind durch den hohlen, im Bilde sichtbaren, Achszapfen der Deklinationsachse herausgeführt und über am Rahmenteil der Polarachse festverlegte Kupferleitungen mit den Schleifringen verbunden. Auf der anderen Seite der Deklinationsachse sitzt ein Schneckenrad mit 360 Zähnen und Grad-


Digitized by Google

teilung auf der Stirnfläche, in das eine Tangentenschraube zur Feineinstellung in Deklination eingreift. Deren Teiltrommel gibt eine Minute. Wettersicher verdeckte Azimut-Korrektionsschrauben deren volle Umdrehung 30 Minuten Azimutänderung bewirkt, erlauben die genaue Einstellung in Stunden. Ein Linsendiopter kontrolliert in bequemster Weise dauernd die richtige Einstellung der Tubusachse parallel zur Strahlung, eine Anzahl Gegengewichte sorgt für guten Massenausgleich, so daß das Uhrwerk in allen Lagen des schweren Kupferkörpers unbeeinflußt bleibt. Der Kupferkörper besteht aus einer rechten und linken Hälfte, die durch einen vorderen und hintern Zentrierdeckel und durch drei quer durchgehende Bolzenschrauben zusammengehalten werden. Nach deren Lösung wird die im Innern befindliche kleine, die Thermosäule bergende Kammer zugänglich. Der im Bilde erkennbare Linsentubus mit Vorderschirm, Vorderblende, Quarzlinse und Hinterblende im Fokus ist mit Konus in den Kupferkörper sorgsam eingepaßt, durch ein Gewinde im vorderen Zentrierdeckel gehalten und bis zum völligen Flächenkontakt mit dem Kupferkörper verbunden.



So weit die äußere Anordnung des Pyrheliographen. Der wichtigste Bestandteil ist der auf die Sonnenstrahlung reagierende Teil, der möglichst unabhängig von den Strahlungseinflüssen der Umgebung sein muß. Der Verf. erreicht solches, indem er, wie beim Michelsonschen Aktinometer, die empfindliche Thermosäule in eine kleine Kammer eines massiven zylindrischen Kupferkörpers von 3 kg Gewicht einschließt, dessen große Kapazität Wärmeschwankungen der Umgebung genügend abhält und dessen große Leitfähigkeit den Temperaturausgleich um die kleine Kammer herum schnellstens vollführt. Im Vorderteil der Kammer ist durch ausgiebigste Reflexion dafür gesorgt, daß auch möglichst die letzten Spuren von der Auffangfläche abirrender Strahlen auf diese zurückgeführt werden, im Hinterteile der Kammer dagegen ist durch sorgsamste Schwärzung für Abhaltung aller etwa von vorn durchgeschlüpften Strahlen von der Rückseite der Thermosäule durch Absorption gesorgt. Die zylindrische Kammer ist bei 8 mm Breite 23,92 mm lang, die in ihr sehr genau zentriert und symmetrisch zur Deklinationsachse ruhende Thermosäule besitzt eine Längenausdehnung von 12,18 mm und besteht aus 18 Elementen aus Konstantankupfer mit 30 mm^2 großer Auffangfläche. Diese steht ein wenig (2,8 mm) extrafokal zur Bildebene einer Quarzlinse von 20 mm Öffnung und 86 mm Brennweite, welche also in der Fokusebene 1 Grad Objektausdehnung mit 1,5 mm Größe zeichnet. Fünf vor die Linse zu schaltende Vorderblenden gestatten je nach Wunsch etwa $^1/_1$, $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_{16}$ der einfallenden Intensität auszunutzen, während ein hochglanzpolierter Vorderschirm den Kupferkörper vor direkter Bestrahlung durch die Sonne schützt. Drei in der Fokusebene auswechselbare Hinterblenden erlauben je nach Wunsch die zusammen mit der Sonne einstrahlende Himmelszone zu begrenzen auf 8,4 oder 12,8 oder 47,8 Bogenminuten vom Sonnenrande. Bei den Dauerregistrierungen wurde die die Intensität auf den achten Teil herabsetzende Vorderblende von 7,08 mm Durchmesser gewählt nebst der größten, eine Himmelszone von gut $^3/_4$ Bogengrad mit einlassenden Hinterblende, weil kleine Abweichungen der Einstellungen im Tageslaufe unvermeidlich waren, teils infolge des Wechsels der Deklination der

Digitized by Google

Sonne während des Tages, teils wegen der nicht astronomischen Festigkeit des Postamentes, welches auf dem Dach des Observatoriums aufgemauert ist, teils und hauptsächlich wegen einer kleinen Abhängigkeit des Uhrwerkes von der in gewaltigen Grenzen schwankenden Temperatur. Bei der gewählten Anordnung bleiben die Galvanometerausschläge noch unverändert, wenn das Sonnenbildchen um seinen halben Durchmesser von der richtigen Zentrierung abweicht. Die im Inneren des Kupferkörpers sich entwickelnde Temperatur konnte mittels eingefügter Thermometer kontrolliert werden; sie erreichte auch unter extremen Verhältnissen nicht annähernd die kritische Temperatur von 50 Grad C., bei welcher der Schellack der Thermosäule hätte erweichen können. Unter den genannten Verhältnissen gibt die Thermosäule in voller Sonne etwa 0,546 Millivolt, so daß an das etwa 1000 Ohm Widerstand besitzende Hartmann & Braunsche Spiegelgalvanometer der Empfindlichkeit $1,16 \cdot 10^{-9}$ noch ein Widerstand von etwa 2000 Ohm geschaltet werden mußte, damit überhaupt registriert werden konnte. Die registrierten Ausschläge schwanken bei klarer Sonne je nach Sonnenhöhe zwischen 1,35 und 60 mm (1 mm = 0,01174 Cal), ein Stundenintervall entspricht 20 mm Streifenbreite. Infolge der trotz ihrer Geringfügigkeit nicht verschwindenden kleinen Wärmekapazität der Thermosäule besteht eine etwas vergrößerte Trägheit in der Einstellung des Galvanometers, welche von ganz ähnlicher Größe ist, wie die bei der Registrierung mittels des Angströmschen Pyranometers beobachtete. Es werden innerhalb der Einstelldauer des Galvanometers (kaum 10 Sek.) stets mindestens 63 vH. darauffallender Intensität registriert. Der Anstieg des Ausschlages geschieht in der Form einer steilen Exponentialkurve; nur etwa das letzte Siebentel folgt langsam innerhalb $1^1/_2$ Minuten. Es entsteht also bei der Dauerregistrierung schematisch ein kleiner Ausgleich der Kurvenzüge, welcher aber bei dem genannten Maßstab kaum erkennbar ist. *H. Krüss.*

Das Spektrophotometer Ivon.

Von A. Jobin. *Revue d'Optique 1. S. 499. 1922.*

Unter dem Gesichtspunkte, daß bei den verschiedenen photometrischen Arbeiten gewisse Teile der dazu benutzten Instrumente immer dieselben sind, hat der Ingenieur Ivon in der Pariser Werkstätte A. Jobin einen Universalapparat konstruiert. Auf einer Aluminiumgrundplatte von 58×50 cm² ist eine große Zahl von Instrumententeilen montiert, teils fest, teils abnehmbar oder hochklappbar, die erlauben, in 14 verschiedenen Kombinationen den verschiedensten Aufgaben der Photometrie zu dienen.

Über den Wert derartiger Universalapparate kann man sehr verschiedener Meinung sein. Jedenfalls erfordert die Behandlung und Benutzung eine bei weitem größere Aufmerksamkeit, als wenn man sich einzelner einfacher Apparate bedient. Denn um allen Zwecken zu genügen, muß schon die Grundanlage eine viel kompliziertere werden, als es zu den einfachsten Untersuchungen erforderlich sein würde. Es soll hier sich nur auf die Wiedergabe einer der Versuchsanordnungen beschränkt werden, aus welchen schon das Gesagte hervorgeht.

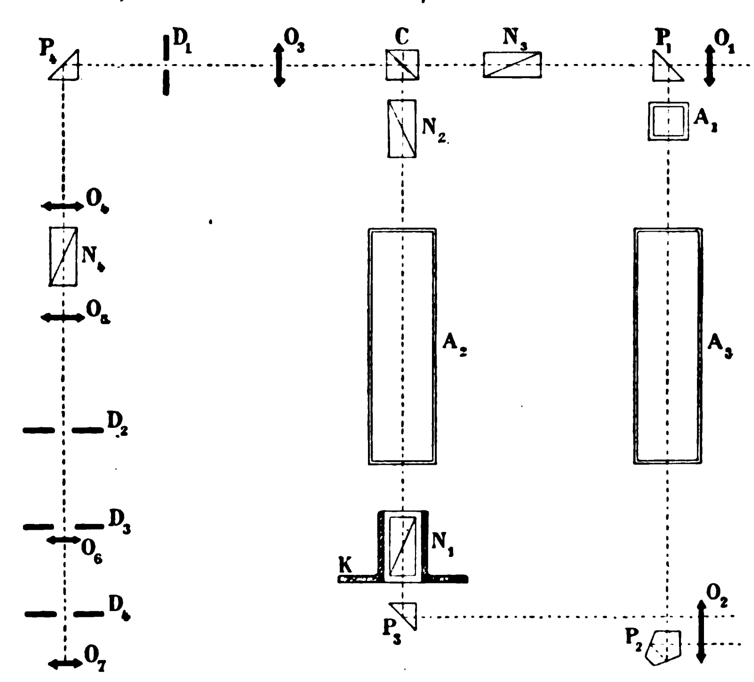
Zugrunde liegt der Gesamtkonstruktion das Universalphotometer von Fabry und Buisson. Es wird kein Photometerschirm benutzt, sondern die leuchtende Fläche einer Linse, in deren Brennpunkt die zu prüfende Lichtquelle aufgestellt wird. Das bietet den Vorteil größerer Helligkeit und der Möglichkeit, auch in nicht verdunkeltem Raume arbeiten zu können.

Das Schema der einfachsten Anordnung ist in der Figur gegeben. Hier sei zunächst der Verlauf von zwei Strahlenbündeln verfolgt. Der Verlauf 1 enthält das Kollimatorobjektiv O_1, in dessen Brennpunkt die zu photometrierende Lichtquelle aufgestellt ist (befindet sie sich in genügender Entfernung, so kann auf dieses Objektiv verzichtet werden), den Photometerwürfel C, das Objektiv O_2 und die Eintrittsblende D_1 für das Beobachtungsrohr.

Der zweite Lichtweg führt von der im Brennpunkte des Objektivs O_2 aufgestellten Vergleichslichtquelle und dem Reflexionsprisma P_2 durch den im Teilkreise K drehbaren Nikol N_1 und den festen Nikol N_2 ebenfalls auf den Photometerwürfel C und wird an dessen Hypotenusenfläche reflektiert. Diese Fläche besteht aus drei Streifen, einem mittleren, in welchem die beiden Prismen im Kontakt sind, und zwei Seitenflächen.


Digitized by Google

Nach Durchtritt durch die Eintrittsblende D_1 werden die beiden nebeneinander laufenden Strahlenbündel durch das Reflexionsprisma P_4 um 90 Grad abgelenkt auf das Objektiv O_4, in dessen Brennpunkt sich die Blende D_1 befindet. Es folgt dann das Objektiv O_5 und in dessen Brennpunkt die Gesichtsfeldblende D_3 mit Fadenkreuz. Hier entsteht das Bild der Eintrittsblende D_1, während in der Ebene der Blende D_2 das Bild der Streifen des Photometerwürfels gebildet wird. Durch das Objektiv O_6 wird dieses Bild weiter in die Ebene der Blende D_4 entworfen, welches mit dem Okular O_7 betrachtet wird.



Zur Herstellung gleicher Helligkeit der Felder des Photometerwürfels dienen einerseits die beiden Nikol, andererseits können auch Rauchgläser in den einen oder anderen Strahlengang eingeschaltet werden.

Bei Betrachtung der ganzen Anordnung erhebt sich die berechtigte Frage, ob die beabsichtigte Wirkung nicht ebenso gut durch weit einfachere Mittel erreicht werden könnte.

Das Schema deutet noch eine andere Benutzungsweise des Apparates an, nämlich diejenige zur Bestimmung der Lichtdurchlässigkeit von Flüssigkeiten, Glasplatten u. dgl. Dabei wird nur eine Lichtquelle im Brennpunkte des Objektivs O_2 benutzt und von dem dieses verlassenden Strahlenbündel ein Teil durch das Pentaprisma P_2 (warum nicht ein gewöhnliches Reflexionsprisma?) gegen das Reflexionsprisma P_1 gelenkt und von diesem auf den Photometerwürfel C. In A_1 wird eine Küvette mit der zu untersuchenden Flüssigkeit bzw. die zu prüfende Glasplatte aufgestellt. Wie bei dieser Messung die photometrische Ungleichseitigkeit der beiden Lichtwege, einerseits zwei Reflexionsprismen, andererseits ein solches Prisma und zwei Nickols, berücksichtigt wird, ist nicht angeführt.

Es mag hier die Schilderung der einen Art der Zusammenstellung genügen. Der Verf. beschreibt weitere, die der Polarimetrie, der Spektrophotometrie, der Messung von Reflexionsverlusten u. a. dienen sollen. Wer auf diesem Universalinstrument richtig spielen will, muß sich vorher gehörig einüben. Zu dem Zwecke hat der Konstrukteur denn auch ein umfangreiches Werk herausgegeben, welches alle notwendigen Einzelheiten über Zusammensetzung und Justierung zu den verschiedenen Zwecken enthält, sowie theoretische Ausführungen über die Methoden und Formeln, welche zur Ausführung und Ausdeutung der Experimente nützlich und erforderlich sind.

H. Krüss.

Verbindung eines konkaven Gitters mit einer Lummer-Gehrcke-Platte oder einem Stufengitter zur Beobachtung feiner Strukturen von Spektrallinien.

Von H. Nagaoka und T. Mishima. *Astrophys. Journ.* **57.** *S. 92. 1923.*

Von den verschiedenen Methoden, die Struktur der Spektrallinien zu beobachten, werden sehr genaue Ergebnisse erzielt durch Herstellung gekreuzter Spektren mittels eines Interferometers. Die Linien sind aber im allgemeinen diffus und nicht scharf genug, wenn der Funke in Luft erzeugt wird. Dazu sind Funken im Vakuum erforderlich.


Digitized by Google

Alle Interferometer — Michelsons Stufengitter, die Lummer-Gehrcke-Platte und das Fabry-Perot-Interferometer — haben den Nachteil, daß für ihren Gebrauch die Lichtquelle ganz rein sein muß. Diffuse Linien, selbst wenn einiger Intensitätsunterschied zwischen ihren Komponenten vorhanden ist, können nicht damit untersucht werden, da die Interferenzstreifen keine bestimmte Begrenzung besitzen; das ist z. B. der Fall bei den Natriumlinien in der Bunsenflamme oder den Kadmiumlinien im elektrischen Lichtbogen in der Luft.

Dagegen zerlegt bekanntlich ein konkaves Gitter infolge seines Astigmatismus die meisten solcher Linien, die durch die genannten Interferometer nicht aufgelöst werden. Das ist besonders der Fall bei Untersuchung des Zeeman-Effektes der meisten Leichtmetalle.

Die Verfasser verbinden nun die beiden Instrumente, ein konkaves Gitter und eine Lummer-Gehrcke-Platte, und vereinigen dadurch die Wirkung der hohen auflösenden Kraft des Interferometers mit der astigmatischen Wirkung des konkaven Gitters.

Das von der Lichtquelle kommende Licht wird von dem Spalt des Interferometers aufgenommen und die durch dieses erzeugten Interferenzspektren werden projiziert auf den Spalt eines konkaven Gitters von 1,88 m Krümmungsradius mit 4 cm breiter geteilter Fläche. Der Spalt des Gitters muß ziemlich weit sein, etwa 2 bis 3 mm, um zwei oder drei aufeinander folgende Interferenzspektren verschiedener Ordnung aufzunehmen. Große Sorgfalt muß dabei darauf verwendet werden, daß die auf den Gitterspalt projizierten Linien parallel den Gitterstreifen sind. Das kann durch unmittelbare Beobachtung im sichtbaren Teile des Spektrums leicht erreicht werden, da, wenn diese Bedingung erfüllt ist, die Linien besonders scharf erscheinen. Die in dieser Weise beobachteten zusammengesetzten Linien sind nicht vollständig übereinstimmend mit den durch die Lummer-Gehrckesche Platte analysierten Linien. Infolge des geringen Unterschiedes in den Wellenlängen der Komponenten wird ihre gegenseitige Lage in geringem Maße durch Beugung beeinflußt, und so zeigen sich kleine Unterschiede in ihrem Abstand voneinander. Aber der Charakter der bei dieser Beobachtungsmethode erzeugten Linien ist ein sehr scharfer, so daß keine Schwierigkeit besteht, die einzelnen Komponenten voneinander zu unterscheiden, welche sonst ein diffuses Aussehen hatten, namentlich bei einem Lichtbogen unter atmosphärischem Druck. Die Verf. weisen das an den Eisenlinien nach, welche, mit der Platte allein analysiert, als Streifen ohne bestimmte Begrenzung erscheinen, durch Einschalten des Gitters aber vollkommen scharf werden.

H. Krüss.

Auszugberichte des Nela Research Laboratory.

Von Edward P. Hyde. ***1.*** *Heft 3. 1922.*

Bei Besprechung des 1917 erschienenen zweiten Heftes[1]) wurde bereits auf das Verdienstvolle der Zusammenfassung einer größeren Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen hingewiesen, die an verschiedenen, und nicht einem jedem zugänglichen Orten erschienen sind. Das jetzt vorliegende neue Heft enthält auf 218 Seiten Bericht über 36 verschiedene Arbeiten und gibt damit eine voll kommene Übersicht über die Arbeiten des unter der Leitung von Edward P. Hyde stehenden *Nela Research Laboratory* der *National Lamp Works of General Electric Company in Cleveland* (Ohio).

Seit Erscheinen des vorhergehenden Heftes ist die Anstalt in zwei getrennte Laboratorien geteilt worden. Das eine dient der reinen Wissenschaft und steht unter der Leitung von F. Nichols, während das zweite, der angewandten Wissenschaft dienend, von M. Luckiesch geleitet wird.

Über den Inhalt des vorliegenden Heftes sei hier kurz berichtet.

Hyde und seine besonderen Mitarbeiter beschäftigten sich in verschiedenen Richtungen mit der Bestimmung der wahren Temperatur und überhaupt der Strahlungseigenschaften der vornehmlich zu Leuchtkörpern verwendeten Substanzen. Diese Arbeiten führten zu einer von der General Electric Company angenommenen Temperaturskala, begründet auf dem Schmelzpunkt des Goldes 1336° K und demjenigen des Palladiums 1828° K (c. = 14350°).

Über W. E. Forsythes Ausführungen in bezug auf die Einstellung von Prismen mit konstanter Ablenkung in das Minimum der Ablenkung ist hier schon berichtet worden[2]).

[1]) *Diese Zeitschr.* ***41.*** *S. 274. 1921.* [2]) *Diese Zeitschr.* ***43.*** *S. 27. 1923.*


Digitized by Google

Hyde, Forsythe und Cady berichten über eine Feststellung der Sichtbarkeitskurve des Spektrums. Benutzt wurde ein Lummer-Brodhunsches Spektrophotometer. Die den einen Spalt mittels einer Linse beleuchtende Glühlampe mit konstant erhaltener Temperatur war mit dem Spalt fest verbunden, so daß sicher immer dieselbe Stelle des Glühkörpers auf den Spalt projiziert wurde. Die Breite des Eintrittsspaltes war 0,1, derjenige des Okularspaltes 0,2 mm. Zunächst wurde die Spannung der vor dem zweiten Kollimatorrohr aufgestellten Vergleichslampe so reguliert, daß die Helligkeit beider Spektren ungefähr dieselbe war. An 18 verschiedenen Stellen des Spektrums wurde nun das Intensitätsverhältnis in den beiden Spektren mit Hilfe eines rotierenden Sektors genau festgestellt und dann der Eintrittsspalt mit der mit ihm festverbundenen Lampe um 0,15 mm seitwärts verschoben und an derselben Stelle die gleichen Messungen vorgenommen.

Leonard T. Troland sucht die Empfindlichkeit der Netzhaut allein über das ganze Spektrum festzustellen, indem er die Lichtdurchlässigkeit der Medien des Auges berücksichtigt. Er nimmt dabei an, daß diese der Durchlässigkeit einer Wasserschicht von 2,28 mm Dicke gleichzusetzen sei, und benutzt zur Berechnung der Durchlässigkeit über das ganze Spektrum Zahlen, die von Aschkinass gegeben sind. Er findet, daß die „Retina"-Kurve weit symmetrischer nach den beiden Enden des sichtbaren Spektrums verläuft als die Kurve für das ganze Auge.

Es folgen dann eine Reihe interessanter Arbeiten über Netzhautermüdung (Minuthesis), Nachbilder, Abwesenheit des Purkinjeeffektes in der Fovea, sowie der Nachweis, daß rotgefärbte Gegenstände näher erscheinen als blaue.

Besonders hervorzuheben sind wieder Versuche von Leonhard F. Troland über den Einfluß von Helligkeit und Farbe auf die Flimmer-Photometer — Geschwindigkeit bei Vergleichung zweier Intensitäten. Diese wird definiert als dasjenige Verhältnis der Umdrehungen in der Sekunde bei gleichen Zwischenräumen, welches gerade erforderlich ist, um das Flimmern eben verschwinden zu machen, so daß es bei einer geringen Verlangsamung des Lichtwechsels wieder erscheint. Acht verschiedene Stellen des Spektrums wurden mit weißem Licht von verschiedenen Intensitäten verglichen.

Das Ergebnis war, daß je größer die Helligkeit war, um so größer mußte die Flimmergeschwindigkeit sein. Die Flimmergeschwindigkeit war außerdem im Gelb-Gelbgrün am geringsten und nahm nach dem roten und dem violetten Ende des Spektrums zu.

In sehr ausführlicher Weise ist die Arbeit von M. Luckiesh über die Physikalischen Grundlagen der Farbentechnik wiedergegeben. Er behandelt darin eine große Anzahl Pigmente, Farben und farbige Gläser, und zwar bei ersteren beiden die Reflexion, bei den gefärbten Gläsern die Durchlässigkeit in den verschiedenen Farben des Spektrums.

Die Farbe eines in fein verteiltem Zustande (Pulver) befindlichen Pigments resultiert aus unzähligen Reflexionen an und Durchgängen durch die einzelnen durch Luft voneinander getrennten Teilchen. Bei loser Packung hat es eine reinere Farbe, als wenn die Oberfläche durch Druck geglättet ist. Die Art der Beleuchtung, ob Himmels-, Sonnen- oder irgendwelches künstliches Licht auf das farbige Pulver fällt, hat natürlich einen bedeutenden Einfluß auf die spektrale Zusammensetzung des reflektierten Lichtes.

Sehr reichhaltig sind die Angaben über verschiedene rote, gelbe und blaue Farben, sowie über die Durchlässigkeit der mit den verschiedensten Farbstoffen gefärbten Filter. Desgleichen sind eine größere Anzahl von farbigen Gläsern auf ihre spektrale Durchlässigkeit untersucht worden.

Sodann folgt ein Vorschlag von M. Luckiesch über ein spektrographisches Filter. Eine bestimmte photographische Platte ist für die verschiedenen Teile des Spektrums verschieden empfindlich. Bei der Aufnahme eines Spektrums erscheinen also nicht alle Teile in dem richtigen Helligkeitsverhältnis. Ein so entstandenes Negativ mit seinen unrichtigen Helligkeitsverhältnissen, die, weil es ein Negativ ist, sich in umgekehrtem Zustande befindet wie die Wirklichkeit, benutzt er als Filter, indem er das Negativ in Kontakt bringt mit der Platte, auf der nun eine in ihren Helligkeitsverhältnissen richtige Aufnahme entsteht.

Derselbe Verfasser zeigt an photographischen Spektrumsbildern, daß blaues Kobaltglas eine größere Durchlässigkeit im äußersten brechbaren Ende des Spektrums besitzt als klares


Digitized by Google

Glas. Er hatte zum Zwecke solcher Aufnahmen von dem Spalt des Spektrographen gleich dicke Stücke der beiden miteinander zu vergleichenden Gläser angebracht.

In Ausführungen über den Reflexions- und den Absorptionsfaktor behandelt Luckiesch zumeist Gläser mit rauher Oberfläche, matt, geätzt, Kristallglas, und zeigt an sehr hübschen Photographien die Durchlässigkeit und Zerstreuung der verschiedenen Versuchsobjekte.

H. Krüss.

Wechselstrombrücke für Temperaturmessungen an elektrischen Maschinen.

Von Heinrich Kafka. *Wissensch. Veröff. a. d. Siemens-Konzern* **2.** *S. 365—372. 1922.*

Widerstandsthermometer für Temperaturmessungen an Dynamos, Motoren und Transformatoren werden zweckmäßig mit Wechselstrom gespeist, da man hierbei in der Lage ist, hohe Spannungen durch einen Isolierwandler von der Meßapparatur fernzuhalten. Der Isolierwandler mit angeschlossenem Thermometer ist in einen Zweig einer Wheatstoneschen Brücke geschaltet, während in den drei anderen Zweigen konstante Widerstände liegen. Zwischen Stromeintritts- und Austrittspunkt liegt die Feldspule, in der anderen Brückendiagonale die Drehspule eines Dynamometers. Ändert sich nun infolge Temperatur- und damit proportionaler Widerstandsänderung des Thermometers die Spannung an der Drehspule, so ändert sich der Ausschlag des nach Temperaturgraden geeichten Dynamometers.

Nach Einführung einer vereinfachten Ersatzschaltung für den Isolierwandler samt Thermometerwiderstand wird diese Brückenmethode eingehend theoretisch untersucht. Die Ortsdiagramme für die Brückenspannungen werden abgeleitet und geometrisch dargestellt. *Zickner.*

Über eine Nullmethode zur elektrostatischen Messung sehr kleiner Ströme und sehr großer Widerstände.

Von O. Berg. *Wissensch. Veröff. a. d. Siemens-Konzern* **2.** *S. 363—364. 1922.*

In zwei benachbarten Zweigen einer Brückenschaltung liegt je ein Kondensator C_1 bzw. C_2, von denen der eine veränderlich ist. In den beiden anderen Zweigen liegt je eine Ionisationskammer J_1 bzw. J_2, im Indikatorzweig ein Elektrometer, und zwar so, daß jede seiner Klemmen mit einem Kondensator und einer Ionisationskammer verbunden ist. Nach Aufladung beider Kondensatoren auf das gleiche Potential entlädt sich C_1 durch J_1, C_2 durch J_2. Wird nun der variable Kondensator so eingestellt, daß das Elektrometer keinen Ausschlag zeigt, so erhält man durch das Kapazitätsverhältnis C_1/C_2 das Verhältnis der Ströme i_1/i_2 oder, wenn man statt der Ionisationskammern Widerstände einschaltet, das Widerstandsverhältnis w_2/w_1. Die erstere Methode wurde zur Bestimmung der prozentualen Tiefendosis der Röntgenstrahlen an einem Wasserphantom benutzt.

Zickner.

Voigtländer-Werkstatt-Mikroskop.

Nach einer Werbeschrift der Voigtländer & Sohn A.-G. in Braunschweig.

Dem wachsenden Bedürfnis nach handlichen Werkstatt-Mikroskopen zur Untersuchung des Kleingefüges von Metallen, Legierungen, Geweben und Baustoffen aller Art hat die oben genannte Firma mit dem in der Werbeschrift Nr. 1284 beschriebenen Instrument Rechnung getragen. Das Rohr für die Mikroskopführung wird in einfachster Weise von einem dreibeinigen Stativ getragen; die Einstellung erfolgt von Hand. Die Möglichkeit künstlicher Beleuchtung ist durch einen allseitig beweglichen Beleuchtungsspiegel gegeben, der auf einem der Stativbeine verschiebbar angeordnet ist. Je nach Wahl der optischen Ausrüstung kann ca. 50- bis 250-fache Gesamtvergrößerung erzielt werden. *G.*


Digitized by Google

Bücherbesprechungen.

Kalender für Vermessungswesen und Kulturtechnik. Herausgegeben von Curtius Müller. Verlag von K. Wittwer, Stuttgart.

Frühern Notizen über einzelne Jahrgänge dieses nützlichen Taschen- und Handbuchs, die in dieser Zeitschr. besonders mit Rücksicht auf die vom Herausgeber bearbeiteten Abschnitte „Neues aus dem Gebiet des Landmessungswesens und seiner Grenzgebiete“ erschienen sind, mag der Hinweis beigefügt sein, daß diese Abschnitte auch in den letzten Jahrgängen des Kalenders fortgesetzt worden sind. So enthalten die Jahrgänge 1921, 1922, 1923, 1924 die 15., 16, 17. und 18. Mitteilung dieser Art, wobei besonders anerkannt werden muß, daß der Verf. den neuerdings fast unüberwindlich gewordenen Schwierigkeiten, auch die nichtdeutsche Literatur in seinen Überblick einzubeziehen, nach Kräften zu begegnen sucht.

Die Anordnung des Berichts ist in den letzten Jahren dieselbe geblieben; als die drei Hauptabschnitte sind unterschieden: 1. Instrumente, 2. Methoden, 3. Neuere Veröffentlichungen. Da im Sinn unserer Zeitschrift das Hauptinteresse sich auf 1. lenken muß, so mag hier nur nebenbei erwähnt sein, daß man dem Abschnitt 2. eine etwas andere Gliederung wünschen möchte. Auch kann selbstverständlich auf Einzelheiten nicht eingegangen werden. Immerhin sei aus der 17. Mitteilung (1923) angeführt, daß Müller zu dem in *dieser Zeitschr. 41. S. 355. 1921* als „Nivellierstab“ beschriebenen Werkzeug von Werkmeister-Sickler die Bemerkung macht: „Ich würde einen handlichen Gefällmesser vorziehen“; er wird damit wohl kaum eine Stimme gegen sich haben. Da Werkmeister a. a. O. mein „Lehrburch der elementaren praktischen Geometrie“ (I, 1911, S. 11) anführt, um bei dem daselbst angegebenen und ausdrücklich als solchen bezeichneten *Notbehelf* zu tadeln, daß je nach der Einblickrichtung ein u. U. bedeutender Fehler entstehe, so darf ich wohl beifügen, daß ich von diesem Notbehelf in Ermanglung eines „Taschennivelliers“ oder „Freihand-Gefällmessers“ mehrfach Gebrauch gemacht habe; was damit zu erzielen ist, ist auch ohne Zuhilfenahme der nächstgelegenen Mittel zur Ausschaltung jener Unsicherheit besser als eine reine Schätzung einer horizontalen Zielung. Daß aber nun auf diesem Weg ein eigentliches Nivellier, ohne Fernrohr, herzustellen versucht wird, wie es der Sicklersche Nivellierstab vorstellt, war nicht angezeigt und wird, wie oben angedeutet, nicht viele Freunde finden. *Hammer.*

Die Nivellements von hoher Genauigkeit, Höhen über N. N. im neuen System der Trigonometr. Abtlg. des Reichsamts für Landesaufnahme; I. Teil. Sonderdruck der „Vorbemerkungen“ zu diesem I. Teil: 4°, 48 S. mit 8 Anlagen. Berlin, Selbstverlag, 1923.

Die hier vorliegenden Seiten geben die dem neuen „Höhenverzeichnis“, Teil I (der dann mit S. 49 beginnen wird) vorangestellten Vorbemerkungen über das in Ausführung begriffene Nivellementsnetz „hoher Genauigkeit“, das allmählich an Stelle des 1869 bis 1900 geschaffenen Feinnivellementsnetzes der preußischen Landesaufnahme treten wird. Es hat sich schon seit Jahrzehnten als notwendig gezeigt, daß einzelne Linien des alten Netzes, in der Marsch (Hannover und Oldenburg), dann im westfälisch-rheinischen Bergbaugebiet, im „Küstennivellement“, wegen mangelhafter Standsicherheit der „Festpunkte“ wiederhergestellt werden mußten; die jetzt in Ausführung begriffenen Messungen aber sollen ein neues Netz liefern, das den gesteigerten Genaugikeitsanforderungen gerecht wird, wie sie die Erdmessungskonferenz von 1912 für Einwägungen von „hoher Genauigkeit“ aufgestellt hat.

Dieser I. Teil der neuen Höhen, die sich auf denselben Horizont N. N. wie die früheren beziehen, obwohl bekanntlich jener Normalhöhenpunkt von 1879 an der alten Berliner Sternwarte infolge Abbruchs der Sternwarte nicht mehr vorhanden ist, sondern durch ein System von neuen Normalhöhenpunkten von 1912 ersetzt ist, umfaßt eben die Punkte, deren Messung durch den angedeuteten Ersatz des Normalhöhenpunkts bedingt war. Der II. Teil soll dann die neuen Höhen der Punkte im nordwestlich vom N. H.-Punkt liegenden Gebiete des alten Netzes, Schleswig-Holstein, Hannover, Teil von Oldenburg, Teile von Rheinland, Westfalen, Brandenburg, Sachsen, bringen.

Ziemlich eingehend beschrieben werden in den vorliegenden Vorbemerkungen das Ni-


Digitized by Google

velliergerät (Instrument von Hildebrand, 40 f. verg. Fernrohr, Libelle 5″ Teilwert auf 1 P. L.; Latten 3-m-Kastenlatten mit Strichteilung in $^1/_2$ cm, Strichbreite 1 mm); das Messungsverfahren (Einstellung von Lattenstrichen zwischen die Horizontalfäden, Zielweite 50 m, Ablesen des Libellenstandes durch Beobachter, die auf richtiges Sehen untersucht sind, Feststellung des Lattenmeters an jedem Arbeits-Halbtag; Lattenuntersatz von 5 kg Gewicht); endlich die Arbeiten zur gegenseitigen Festlegung des N. H. von 1879 (zerstört, s. ob.) und des N. H. von 1912.

Sehr bemerkenswert sind die Fehlerberechnungen zu den im Teil I des neuen Netzes vereinigten Linien. Als zufälliger m. F. für 1 km ergibt sich nur $\pm\ ^1/_3$ mm, während ein systematischer Fehler überhaupt nicht sicher nachweisbar ist: σ_r zeigt sich nur gleich $\pm\ ^1/_{20}$ mm, für σ_R aber ergibt sich eine imaginäre Zahl. Das letzte Ergebnis wird dahin gedeutet, daß der tatsächliche systematische Fehler eines Nivellementsnetzes, aus verschiedenen Ursachen entspringend und deshalb auch in seiner Fortpflanzung verschieden, „auf Grund einer einfachen einheitlichen Formel zahlenmäßig nie sicher zu ermitteln ist“. *Hammer.*

G. Breithaupt, Die Tangentenschraube und ihre Anwendung. (Broschüre aus der Werkstätte für geodätische Instrumente F. W. Breithaupt & Sohn, Cassel), 8°, 16 S.; Cassel 1923.

Veranlassung zur Erwähnung der kleinen Schrift an dieser Stelle gibt besonders die bildliche Vorführung einiger neuer Formen von Theodoliten, Tachymetern, Nivelliertachymetern und Nivellieren, die mit Tangentenschrauben ausgestattet sind. Diese werden nach dem Verf. besonders zu folgenden vier Zwecken verwendet (und hiernach ist die Schrift eingeteilt): I. als Gefällmesser, II. als Entfernungsmesser (nach Hogrewe, Lorber und Pulfrich), III. zum Einwägen mit schwach geneigter statt wagrechter Zielung, IV. zur Höhenmessung von Gebäuden und ähnlichen Aufgaben. Genauigkeitsangaben werden weder in Gestalt von Messungsergebnissen noch in der Form theoretischer Entwicklung mitgeteilt. *Hammer.*

Carl Pulfrich, Die Stereoskopie im Dienste der Photometrie und Pyrometrie. 8°, 94 S. mit 32 Abb. Berlin, Julius Springer 1923. 3,60 Goldmark/—,90 Dollar.

Die von Pulfrich erfundene und durchgearbeitete stereoskopische Methode der heterochromen Photometrie, deren Prinzipien in *dieser Zeitschr.* **42.** *S. 56. 1922* bereits erläutert sind, hat weitgehendes Interesse erregt. Die vorliegende ausführlich darüber handelnde Schrift ist im wesentlichen eine Sonderausgabe einer in den *„Naturwissenschaften“* veröffentlichten Abhandlung.

Der Inhalt wird in zwei Teile gegliedert, deren erster die Grundlagen, deren zweiter Anwendungen der Methode behandelt. Voraus geht eine historische Einleitung über die Entwicklung des Stereoskops zum stereoskopischen Meßinstrument.

Die der Methode zugrunde liegende Erscheinung beruht, um es kurz zu wiederholen, darauf, daß zwischen einem Lichtreiz und der ihm entsprechenden Empfindung eine gewisse Zeit vergeht, die um so größer ist, je schwächer der Reiz ist. Infolgedessen wird eine sich im stereoskopischen Gesichtsfelde bewegende Marke, die also in Wirklichkeit aus zwei Marken besteht, die stereoskopisch zu dem Bilde einer Marke verschmolzen sind, eine scheinbare Ortsveränderung in bezug auf die Tiefe erleiden, wenn die Stärke des in das eine Auge dringenden Lichtes verändert wird, und diese Ortsveränderung wird um so größer sein, je größer der Helligkeitsunterschied beider Felder und je größer die Geschwindigkeit der Marken ist. Sind also beide stereoskopischen Felder verschieden hell, oder werden sie dadurch verschieden hell gemacht, daß man vor das eine Auge ein absorbierendes Glas (neutral oder farbig) hält, und führen die Marken, indem sie stets den gleichen Abstand behalten, eine Pendelbewegung aus, bei der also die Geschwindigkeit von der Mitte nach beiden Seiten abnimmt, so wird sich die stereoskopisch gesehene Marke scheinbar in einer elliptischen Bahn bewegen (kreisende Marke). Man erkennt, daß eine scheinbar geradlinige Bewegung der Marke — gleiche Beschaffenheit beider Augen vorausgesetzt — als Kiriterium für gleiche Helligkeit beider Felder dienen kann, einerlei ob sie gleich- oder verschiedenfarbig sind.

In dem ersten Kapitel wird die Entdeckung der Erscheinung durch Störungen beim Arbeiten mit dem Stereokomparator und dem Stereoautographen geschildert, in dem zweiten werden Vorrichtungen zur Demonstration angegeben. Man braucht dazu natürlich nicht die zwei Felder


Digitized by Google

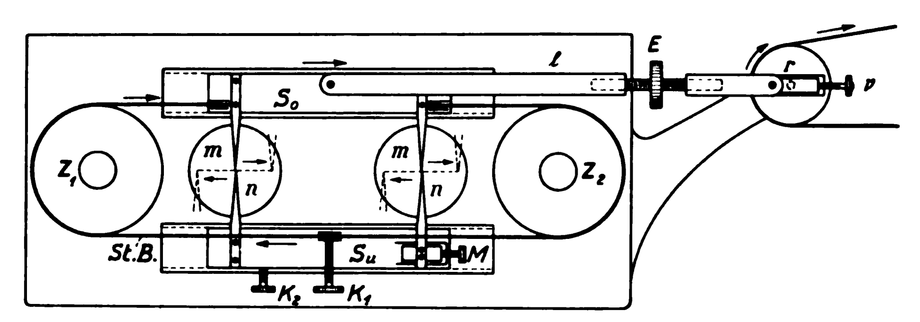
des Stereoskops. Eine pendelnde Marke wird auf einen Schirm projiziert und das Gesichtsfeld des einen Auges irgendwie (durch Rauchglas, Farbglas, Gewebe) verdunkelt.

In den folgenden Abschnitten analysiert der Verfasser die Erscheinung näher und beschreibt mit ihr in Verbindung stehende physiologische Versuche, optische und auch einige akustische. Aus diesen Ausführungen sei hier nur erwähnt, daß nach Messungen, die Pulfrich am Stereokomparator anstellte, die durch einen Helligkeitsunterschied hervorgerufene Parallaxenänderung gegen eine feste Marke sowohl der Geschwindigkeit wie auch dem Helligkeitsunterschied proportional ist.

In dem 10. Kapitel werden ältere Methoden der heterochromen Photometrie besprochen und die Schwierigkeiten erwähnt, die sich bei ihrer Anwendung zeigen. Eingegangen wird nur auf die Methode des direkten Vergleichs und die Flimmermethode, die wohl nicht nach Verdienst gewürdigt wird. Andere werden nur genannt. Diesen Methoden stellt Pulfrich dann seine stereoskopische gegenüber, deren Definition lautet: Zwei gleich- oder verschiedenfarbige Helligkeiten sind gleich, wenn die Zeit zwischen Erregung und Empfindung für beide gleich ist. Das Kriterium für diese Zeitgleichheit liegt darin, daß bei Benutzung der beschriebenen Vorrichtung die kreisende Bewegung der Marke in die geradlinige übergeht.

Den Schluß des ersten Teiles bilden Bemerkungen über die Auswahl geeigneter Beobachter. Es wird verlangt, daß der Beobachter über ein gutes stereoskopisches Sehvermögen verfügt, was mit Hilfe der Pulfrichschen Prüfungstafel für stereoskopisches Sehen sorgfältig geprüft werden soll.

In dem zweiten Teil des Buches wird dann eine Anzahl Apparate für die Anwendung der Methode beschrieben. Der einfachste schließt sich an die angegebene Demonstrationsvorrichtung an und dient zur Bestimmung der Gesamtabsorption von Farbgläsern für eine bestimmte Lichtart (Licht der Projektionslampe). Die pendelnde Marke wird auf einen weißen Schirm projiziert; vor das eine Auge wird ein Rauchglaskeil gebracht, dessen Absorption in Abhängigkeit von der Dicke oder Verschiebung bekannt ist, und vor das andere Auge das zu untersuchende Glas. Der Keil wird so eingestellt, das geradlinige Bewegung der Marke beobachtet wird. Das einfache Verfahren soll namentlich dem Ophthalmologen bei der Untersuchung seiner Schutzgläser von Nutzen sein. Die Beschreibung einer anderen einfachen Vorrichtung zum Vergleich der Helligkeit zweier Flächen (farbiger Papiere) sei übergangen.



Größere Bedeutung als diesen spricht Pulfrich den Apparaten zu, bei denen Doppelfernrohre zur Verwendung kommen, in deren Okularen sich stereoskopische Halbbildmarken befinden. Der wichtigste Teil dieser Apparate, die Vorrichtung zur Erzeugung der pendelnden Marken, ist in obiger Abb. skizziert. Die beweglichen Marken m (Nähnadeln) befinden sich an dem Schlitten S_o, der mit Hilfe des rotierenden Rades r und der Kurbelstange l in Pendelbewegung gesetzt werden kann. Mit Hilfe der Schraube E läßt sich die Länge von l, mit Hilfe der Schraube v der wirksame Radius der Kreisbewegung verändern. Die Marken n können feststehen. Dann sieht man bei ungleicher Helligkeit beider Felder m um n kreisen. Die Marken n können aber auch mit Hilfe des Schlittens S_u, an dem sie sitzen, eine der von m entgegengesetzte Bewegung ausführen. Dies geschieht, wenn S_u durch die Schraube K_1 mit dem Stahlband $St.B.$ verbunden wird, das über die Räder Z_1 und Z_2 geführt in ersichtlicher Weise die Bewegung von S_o mitmacht. Dann


Digitized by Google

kreisen bei ungleicher Helligkeit der Felder die Marken *m* und *n* um einander und gehen bei gleicher Helligkeit in einer Ebene aneinander vorüber. Dadurch, daß auch *n* bewegt wird, erhöht sich die Empfindlichkeit, indem die Parallaxe von *m* gegen *n* in der Mitte des Gesichtsfeldes verdoppelt wird. Das Rad *r* wird durch einen Motor bewegt.

Auf die Anpassung der Okulare ist insofern große Aufmerksamkeit zu verwenden, als die Mitten der Austrittspupillen genau den gleichen Abstand haben müssen wie die Augen des Beobachters, damit bei einer Bewegung des Kopfes stets genau gleich große Teile der Austrittspupillen abgeblendet werden.

Mit dem so ausgerüsteten Doppelfernrohr als Einstellvorrichtung sind nun verschiedene photometrische Apparate konstruiert worden, indem hinter die Fernrohrobjektive (vom Beobachter aus) nach Bedürfnis totalreflektierende Prismen, das Licht diffundierende Gläser, Mikroskopobjektive für mikrophotometrische Zwecke gesetzt werden. Im einzelnen sollen diese Apparate, die für photometrische Vergleichung von Lichtquellen, kolorimetrische Messungen an Lösungen und reflektierenden Flächen bestimmt sind, nicht beschrieben werden. Als Meßvorrichtungen dienen gewöhnlich unmittelbar an den Objektiven angebrachte rechteckige Blenden (Objektivspalte), deren Öffnung mit Hilfe einer Meßschraube symmetrisch zur Mitte verändert werden kann. Solche Meßblende befindet sich an jedem der beiden Objektive.

Bei der Besprechung von Messungsergebnissen geht der Verfasser auf die bekannte Tatsache ein, daß die Größe der Absorption von Farbgläsern für gemischtes Licht von der Zusammensetzung des benutzten Lichtes abhängt. Etwas verwirrend wirkt, daß er hierbei wiederholt von einer Abhängigkeit von der Helligkeit der Lampe spricht, wo, wie aus dem weiteren Text hervorgeht, die Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Lichtes der benutzten, verschieden stark beanspruchten Glühlampe möglichenfalls stark mitwirkt. Verfasser fand, daß die von ihm untersuchten Grün- und Blaufilter solche Abhängigkeit nicht zeigten, wohl aber die Rotfilter. Auch die Reflexion farbiger Flächen wurde in dieser Beziehung untersucht.

Verf. will dann sein Stereophotometer auch als optisches Pyrometer verwenden, indem er von dem zu untersuchenden Licht durch Farbfilter den langwelligen Teil in das eine, den kurzwelligen in das andere Gesichtsfeld des stereoskopischen Apparats schickt und das Helligkeitsverhältnis bestimmt. Nach seiner Ansicht wird es auch genügen, auf der einen Seite ein Rotfilter anzuwenden, auf der anderen das unfiltrierte Licht eintreten zu lassen. Es ist aber wohl kaum anzunehmen, daß mit solchem „Rotfilterstereopyrometer" praktisch brauchbare Ergebnisse erzielt werden können.

Auf einen ferner beschriebenen Apparat zur Bestimmung derjenigen Stelle des Spektrums einer Lichtquelle, die das Spektrum in zwei gleichhelle Teile zerlegt — er soll für die Farbenstereoskopie (Anaglyphen-Verfahren) und verschiedene Fragen der physiologischen Optik von Bedeutung sein —, soll hier nur hingewiesen und zum Schluß noch auf das Stereospektralphotometer eingegangen werden.

Dieser Apparat besteht aus zwei vollkommen gleichen, parallel angeordneten, festarmigen Spektralapparaten oder besser Monochromatoren (nach Löwe), deren Kollimatorspalte mit Hilfe totalreflektierender Prismen von derselben Lichtquelle erleuchtet werden. Die Spalte für den Lichtaustritt liegen in derselben Ebene und vor ihnen die Objektive eines für die Beobachtung dienenden Doppelfernrohres, das auf die nächstliegenden Objektive der Monochromatoren eingestellt ist. Nahe an diesen Objektiven (also diesmal nicht in den Okularen des Doppelfernrohres) sind auch die pendelnden Marken angebracht. Man sieht daher die beiden Monochromator-Objektive und die Marken scharf in dem homogenen Lichte, auf welches die Monochromatoren eingestellt sind, und erkennt, daß man so die Helligkeit beliebiger Spektralbezirke der Lichtquelle vergleichen kann. Die Messung geschieht durch Veränderung der Breite eines der Eintrittsspalte.

Mit diesem Apparat wurde die Helligkeitskurve des Spektrums einer Petroleumlampe bestimmt. Es wurde so verfahren, daß für den einen Monochromator stets das Helligkeitsmaximum eingestellt blieb. War nun bei derselben Farbe Helligkeitsgleichheit für die andere Seite bei der Spaltbreite 100, so wurde hier 75 eingestellt und dann durch Veränderung der Farbe zu beiden Seiten des Maximums die Stelle des Spektrums gesucht, bei der jetzt Helligkeitsgleichheit vorhanden war. Ebenso wurde für die Spaltbreite 50, 25 usf. verfahren. So erhielt man die


Digitized by Google

Wellenlängen, für die die Helligkeit des Spektrums 0,75; 0,5; 0,25 usf. des Maximums betrug und daraus die Helligkeitskurve für das benutzte Dispersionsspektrum. Sie wurde für das Normalspektrum umgerechnet und aus der neuen Kurve unter Benutzung der besonders bestimmten Energieverteilung im Spektrum der Petroleumlampe die Empfindlichkeitskurve des Auges (bezogen auf ein Spektrum konstanter Energie) abgeleitet. Für genauere Vergleichung der Kurve mit den auf anderem Wege erhaltenen genügt die hier erzielte Genauigkeit nicht.

Hat man ein diskontinuierliches Spektrum, so muß man natürlich durch Veränderung der Spaltbreite auf Geradlinigkeit der Markenbewegung einstellen, wobei darauf zu achten ist, daß kein Licht von den Austrittsspalten abgeblendet wird. Es werden Ergebnisse über die relative Helligkeit der Hg- und He-Linien mitgeteilt.

Man erkennt aus der vorstehenden Inhaltsangabe, daß Pulfrich für die Anwendung seines stereophotometrischen Verfahrens bereits eine Fülle von Apparaten konstruiert und zahlreiche Anregungen gegeben hat. Eingehendere Arbeiten mit der Methode, aus denen sich ihre Leistungsfähigkeit im einzelnen erkennen läßt, werden nicht ausbleiben. Nach Pulfrichs Angaben hat sich das Verfahren in dem Institut von Herrn Geheimrat Haber bei der Untersuchung kolloidaler Lösungen bereits gut bewährt. Die Genauigkeit, die dort nach einiger Übung erreicht wurde, wird auf 2 bis 3% angegeben. Erwähnt sei hier auch eine wichtige Arbeit von J. v. Kries (*Naturwissenschaften*, ***11.*** *S. 461. 1923*), in der die Methode nach verschiedenen physiologischen Gesichtspunkten, namentlich in ihren Beziehungen zur Duplizitätstheorie, geprüft wird und Grenzen für ihre Anwendbarkeit bezeichnet werden. Ferner hat Arnt Kohlrausch (*Pflügers Archiv*, ***200.*** *S. 210. 1923*; *Licht und Lampe, 1923. S. 555*) im Verlauf von vergleichenden Versuchen über verschiedene Methoden der heterochromen Photometrie auch einige Versuchsreihen nach dem stereoskopischen Verfahren ausgeführt und für den Helligkeitsbereich des Tagessehens innerhalb der Fehlergrenzen Übereinstimmung mit der Sehschärfen- und Flimmermethode festgestellt, während er beim direkten Helligkeitsvergleich starke Abweichungen von den Ergebnissen der vorgenannten Methoden erhielt.

E. Br.

André-Marie Ampère, *Numéro spécial de la Revue générale de l'Electricité VI.* 1922. 4°, 306 S. mit 1 Tafel und 8 Textabb.

Ampères grundlegende elektrodynamische Arbeiten fallen in die Zeit von 1820—1825. Auf Veranlassung der *Revue générale de l'Electricité* fand am 24. November 1921 unter dem Vorsitz des Präsidenten der französischen Republik in der Sorbonne eine Kundgebung statt, welche die hundertjährige Wiederkehr des Zeitpunktes der „Begründung der Elektrotechnik" feierte. Die Festreden sowie einige ausführliche Arbeiten über Ampère als Mathematiker, Chemiker, Physiker, Philosoph, Forscher und Mensch sind in dem genannten Werke abgedruckt. Den Abschluß des Buches bildet eine Reklamezwecken dienende Übersicht über die Entwicklung der elektrotechnischen Industrie Frankreichs.

Ampère erscheint in dem Werk, neben Faraday, als der Schöpfer der Elektrotechnik. Er ist es in der Tat, wenn auch das französische Nationalgefühl seine Bedeutung gegenüber Faraday allzusehr betont. Die Entdeckung der Induktion dürfte für die Elektrotechnik noch grundlegender sein als Ampères elektrodynamische Forschung — um so mehr als die elektromagnetische Wirkung der Ströme ja schon von Oerstedt aufgezeigt war. — Die Keime, welche Ampère und Faraday säten, fielen bei uns auf fruchtbaren Boden. Die Ruhmesgeschichte deutscher elektrotechnischer Industrie verpflichtet uns daher, dankbar der Männer zu gedenken, ohne deren stille Laboratoriumsarbeit diese Ruhmesgeschichte nicht möglich gewesen wäre. Faraday wurde bereits aus Anlaß seines 50. Todestages (1917) in zahlreichen Zeitschriften gefeiert. Der Ampère-Gedächtnistag in der Sorbonne möge Anlaß sein, auch kurz jene Jahre zu überblicken, in denen Ampère wirkte und forschte.

Die Situation war von eigentümlicher Art. Newton beherrschte die Geister und zwang auch die Forscher auf dem Gebiet der Elektrizitätslehre in seinen Bann. Coulombs Entdeckung, daß elektrische und magnetische Massen sich nach denselben Gesetzen anzogen und abstießen wie schwere Massen, wurde eine mächtige Stütze für den Glauben an elektrische und magnetische


Digitized by Google

„Fernkräfte". Trotzdem für elektrische Ladungen und magnetische Pole das gleiche Gesetz galt dachte man zunächst nicht daran, beide Erscheinungen miteinander in Verbindung zu bringen Newtons sonst so fruchtbarer Einfluß erwies sich als Hemmschuh. Da Newtons Schüler die Gravitation als „Eigenschaft der Materie" ausgespielt hatten, knüpfte man die neuen „Fernkräfte" auch an Materien, an magnetische und elektrische Fluida — und machte sie damit in weitgehendem Maße voneinander unabhängig. Bei solcher Sachlage mußte Oerstedts Entdeckung 1820 revolutionierend wirken. Die Magnetnadel wurde beeinflußt vom elektrischen Strom. Ein Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus bestand trotz „unabhängiger" Fluida.

Oerstedts Entdeckung löste Ampères Arbeiten aus, und hierin liegt — könnte man sagen — ihr größter Verdienst. Die elektromagnetischen Wirkungen des Stromes wurden 1820 bis 1825 einer systematischen Untersuchung unterzogen und jene Fülle von Tatsachen zutage gefördert, die noch heute mit Ampères Namen verknüpft ist. Ampères Forschungen brauchen für die Leser dieser Zeitschrift wohl nicht einzeln aufgeführt zu werden. Es genügt festzustellen, daß die eine Wurzel der Elektrotechnik mit ihnen jedenfalls gefunden war. Magnetismus wurde durch den elektrischen Strom erzeugt, — und die magnetischen Kraftwirkungen des Stromes waren mathematisch festgelegt.

Die Entdeckung der umgekehrten Erscheinung hat Ampères sonst so fruchtbare Theorie von den Molekularströmen für Jahre verzögert. Ein kreisförmiger Strom wirkte wie ein permanenter Magnet. Nichts lag näher, als den permanenten Magnetismus des Eisens auf kleine Kreisströme zurückzuführen, welche dauernd die Moleküle umflossen. Nun kannte man auf elektrischem und magnetischem Gebiet die Erscheinung der Influenz. Ein Stahlmagnet influizierte Stücke von Eisen und Stahl und machte sie vorübergehend oder dauernd magnetisch. Nach Ampères Theorie riefen die Molekularströme der permanenten Magneten in unmagnetischem Eisen die gleichen Ströme hervor. Durch Magnetismus wurden molekulare elektrische Ströme erzeugt. — Auch makroskopische Ströme taten dasselbe, denn sie wirkten je nach Ampères Entdeckung wie ein Magnet. Nichts lag näher, als nun auch makroskopische Influenzströme durch einen Magnet oder einen Elektromagnet hervorbringen zu wollen. Faradays Gedanken wurden durch diese Konsequenzen aus Ampères Influenzvorstellungen beherrscht — und jahrelang arbeitete er vergeblich mit ruhenden Magneten und Strömen. Erst als er sie 1831 bewegte — wurde aus der „Influenz" eine „Induktion" —, und die zweite Wurzel des nachher so stolzen Baumes der Elektrotechnik war in fruchtbares Erdreich versenkt. *Dr. V. E.*

P. Cermak, Die Röntgenstrahlen. 8°. 130 S. mit 112 Abbildungen im Text. Leipzig, J. A. Barth, 1923.

Die klar geschriebene Abhandlung über die Röntgenstrahlen und ihre Eigenschaften ist ein wenig veränderter Abdruck aus dem von L. Graetz herausgegebenen bekannten Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Wissenschaftlich-exakt in der Abfassung und doch, auch dem weniger Vorgebildeten, verständlich, gibt sie eine vorzügliche Einführung namentlich in das experimentelle Tatsachenmaterial dieses Zweiges der Physik. Nach kurzer historischer Übersicht und einer Beschreibung der verschiedenen Röhrentypen wird der Leser schnell zu dem Punkt geführt, der den größten Fortschritt seit der Entdeckung der Röntgenstrahlen bezeichnet: die Auffindung der Interferenzerscheinungen durch Laue durch Verwendung der regelmäßigen Anordnung der Atome im Kristall als Beugungsgitter und die von Bragg unmittelbar darauf entdeckte Interferenzreflexion der Strahlen an den Netzebenen der Kristalle; damit war der Beweis für die Wesensgleichheit der Licht- und Röntgenstrahlen erbracht. Es folgen unter anderem interessante Kapitel über die Ionisierung durch Röntgenstrahlen, über Bremsstrahlung und charakteristische Strahlung, über die Absorption der Röntgenstrahlen und sekundäre Elektronenstrahlung.

Werner.

E. Orlich, Anleitungen zum Arbeiten im Elektrotechnischen Laboratorium. Erster Teil. 8°, 96 S. mit 74 Textbildern. Berlin, Julius Springer 1923. 2,40 Goldmark/0,60 Dollar.

Die Anleitungen sind als Ergänzungen zu den Anfangsvorlesungen über Elektrotechnik an den technischen Hochschulen gedacht. Die Grundlagen der Elektrotechnik und der elektrischen Meßkunde werden also als bekannt vorausgesetzt. Das vorliegende erste Bändchen enthält die


Digitized by Google

Aufgaben des Anfängerkursus, an dem Elektroingenieure und Maschineningenieure gemeinsam teilnehmen. Nach kurzen allgemeinen Anweisungen werden besondere Anweisungen für die einzelnen Aufgaben gegeben. Zunächst werden die elementaren Methoden der Widerstandsmessung wie Wheatstonesche Brücken, Thomsonbrücke, Isolationsmessungen, Fehlerortsbestimmungen u. a. besprochen; dann folgen die mit dem Kompensator ausführbaren Messungen, hierauf Prüfung von Gleichstromzählern, magnetische Messungen mit Köpfelschem Apparat, mit ballistischem Galvanometer u. a., ferner Messungen an Gleichstrommaschinen wie Aufnahme von Charakteristiken usw., zum Schluß Wechselstrommessungen und zwar Leistungsmessungen, Untersuchung von Einphasen-Wechselstrom- und Drehstrom-Zählern, von Transformatoren u. a.

Der Text wird durch zahlreiche, sehr übersichtliche Schaltbilder und Diagramme näher erläutert. Die Anleitungen sind zwar auf die besonderen im Elektrolaboratorium der Charlottenburger Hochschule vorhandenen Hilfsmittel zugeschnitten, sie enthalten aber so viel wertvolle allgemeine Hinweise für das praktische Arbeiten im Laboratorium, daß sie jedem Studierenden der Elektrotechnik und des allgemeinen Maschinenbaues wärmstens empfohlen werden können. *Giebe.*

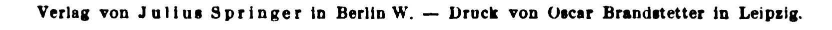
O. Knoblauch, E. Raisch und **H. Hausen,** Tabellen und Diagramme für Wasserdampf. Gr. 8°. 32 S. und 3 Tafeln. R. Oldenbourg, München und Berlin 1923.

Die Tabellen enthalten als Funktion der Sättigungstemperatur und als Funktion des Sättigungsdruckes alle technisch wichtigen Größen des Wassers und seines Dampfes im Bereich von 0 bis 275° und 0 bis 60 at. Die Diagramme, welche dem Werk in drei großen Tafeln beigefügt sind, stellen a) die spezifische Wärme des gesättigten und überhitzten Dampfes als Funktion der Temperatur (50 bis 550°) und des Druckes (0 bis 60 at), b) den Wärmeinhalt des Dampfes als Funktion der Entropie s, c) den Wärmeinhalt i des Dampfes als Funktion des Druckes p dar.

Die Berechnungen beruhen auf den von Knoblauch und seinen Mitarbeitern angestellten Beobachtungen über die spezifische Wärme des Dampfes sowie auf den an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ausgeführten Messungen über den Sättigungsdruck des Wasserdampfes. Das Werk ist von grundlegender Bedeutung für die Berechnung von Dampfmaschinen und hat an die Stelle der wohlbekannten aber seit dem Jahre 1906 nicht wieder erschienenen Tabellen und Diagrammen für Wasserdampf von Mollier zu treten. *Henning.*

Wilhelm Lehmann, Die Elektrotechnik und die elektromotorischen Antriebe. Ein elementares Lehrbuch für technische Lehranstalten und zum Selbstunterricht. 8°. VI u. 452 S. mit 520 Textabb. und 116 Beispielen. Berlin, Julius Springer 1922. Geb. 9 Goldmark/2,15 Dollar.

Dieses neue Werk nennt sich „ein elementares Lehrbuch für technische Lehranstalten und zum Selbstunterricht" und will in erster Linie die Verwendung der elektrischen Erzeugnisse darbieten, indem es mit ganz elementaren Mitteln hauptsächlich Wirkungsweise und Verhalten der elektrischen Maschinen und Apparate unter Zurückstellung des Konstruktiven behandelt. Der Inhalt des Buches gruppiert sich in 13 Abschnitte. Einer Darstellung der Grundlagen des Magnetismus und der Elektrizität (I u. II) folgen die Gleichstrommaschinen (III), Wechselstrom und Wechselstrommaschinen (IV), Drehstrom und Drehstrommaschinen (V). Die Erläuterung der Transformatoren (VI) leitet über auf die Wechsel- und Drehstrommotoren (VII). Die Abschnitte VIII bis X erläutern in gedrängter Form die Erzeugungsstätten sowie die Übertragung und Verteilung der elektrischen Energie und die elektrischen Beleuchtungsanlagen. Fast die Hälfte des Buches ist der Hauptaufgabe gewidmet, dem elektromotorischen Antrieb (XI) und Beispielen hierfür aus den wichtigsten Industriegebieten (XII). Eine kurze Schaltlehre (XIII) bildet den Beschluß. Das einfach und doch streng wissenschaftlich geschriebene Buch wird nicht nur den Schülern technischer Mittelschulen, sondern auch Maschineningenieuren und Betriebsleitern ein vorzüglicher Berater sein und dazu beitragen, das Verständnis für die wirtschaftliche Verwendung der elektromotorischen Antriebe zu vertiefen. Die vorzügliche Ausstattung des Werkes in Hinblick auf Figuren, Druck und Papier sei besonders hervorgehoben. *G.*



Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.



JUN 23 1924
PERIODICAL ROOM
GENERAL LIBRARY
UNIV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT
FÜR
INSTRUMENTENKUNDE.

Organ
für
Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben
unter Mitwirkung der
Physikalisch-Technischen Reichsanstalt
von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **A. Schmidt** in Cöln a. Rh., **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang.

1924.

5. Heft: Mai.

Inhalt:

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1924.

Digitized by Google

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande nur durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Die Berechnung erfolgt heftweise.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei $^1/_4$ $^1/_2$ $^1/_1$ Seite Umfang
30.— 60.— 120.— Goldmark

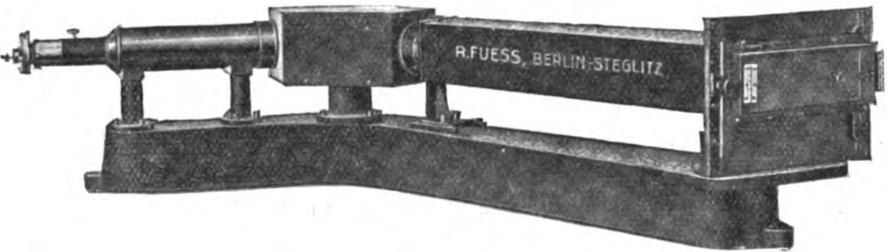
Bei 6 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist
10 20% Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,30 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseingangs. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungsdatum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) nur auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 23/24.
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch
Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118 935 Julius Springer.

R. FUESS / Berlin-Steglitz



Großer Spektrograph.

R. FUESS BERLIN-STEGLITZ

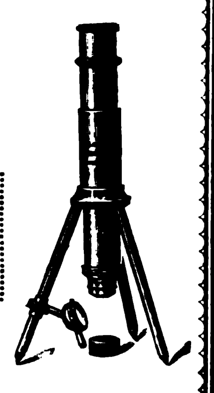
Voigtländer



Mikroskope
*
Werkstattmikroskope
*
Lupen
erstklassiger Ausführung
*

Internationale Ausstellung Turin 1923 Grosser Preis für Mikroskope

Druckschrift kostenlos



Voigtländer & Sohn Aktiengesellschaft
Optische Werke :-: Braunschweig

Digitized by Google

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium.

Prof. Dr. h. c. **H. Krüss,** Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel,**
Prof. Dr. **F. Weidert,** geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLIV. Jahrgang. **Mai 1924.** Fünftes Heft.

Untersuchung des Bildes in Handfernrohren nach der Methode der streifenden Abbildung*).

Von
A. Wetthauer in Charlottenburg.
(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Es ist bekannt, daß in dem Bildfelde eines Fernrohrs die Güte der Abbildung von der Mitte nach dem Rande zu abnimmt. Bei Handfernrohren mit schwacher Vergrößerung beachtet man diesen Mangel gewöhnlich nicht, da man das Fernrohr auf diejenigen Gegenstände zu richten pflegt, die man am deutlichsten sehen will. Immerhin ist die Abnahme der Bildgüte nach dem Rande des Gesichtsfeldes ein Mangel, der auch als solcher empfunden wird, wenn man bei ruhendem Fernrohr die verschiedenen Stellen des Gesichtsfeldes unter Augendrehung betrachtet. Zu dieser Art der Beobachtung ist man bei stark vergrößerndem Fernrohr (schon bei 8facher Vergrößerung) gezwungen, wenn man, um eine genügend ruhige Lage des Fernrohrs zu sichern, diesem eine feste Auflage gibt. Man wird daher unter sonst gleichartigen Fernrohren mit gleich guter Mittenschärfe dasjenige bevorzugen, bei dem die Bildgüte nach dem Rande des Gesichtsfeldes zu am wenigsten abnimmt.

Im folgenden ist der Versuch gemacht, quantitative Bestimmungen über die im Gesichtsfelde eines Fernrohrs auftretenden Abbildungsfehler auszuführen.

Die dabei angewandte Methode der streifenden Abbildung gestattet die für die Bildschärfe außerhalb der Fernrohrachse wesentlichsten Abbildungsfehler, nämlich den Astigmatismus, die Bildwölbung und die Koma verhältnismäßig leicht zu erfassen, sowie über den Astigmatismus und die Bildwölbung zahlenmäßige Angaben zu machen. Auch der Farbenvergrößerungsfehler spielt für die Bildschärfe eine gewisse Rolle. Von der besonderen Bestimmung dieses Fehlers ist bei den vorliegenden Untersuchungen abgesehen, weil er sich hauptsächlich nach dem Rande des Bildfeldes zu bemerkbar macht und die in der Regel an sich schon unscharfen Bildteile nicht mehr wesentlich verschlechtert. Da die Untersuchungen auf photographischem Wege ausgeführt wurden, und zwar in einem durch Filter abgegrenzten Empfindlichkeitsbereiche der photographischen Platte von etwa 460 bis 600 $\mu\mu$, so kommt jedoch auch der Farbenvergrößerungsfehler zur Geltung, indem er die Komaerscheinung bei den photographischen Aufnahmen verstärkt.

Die Untersuchungsmethode ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Das in Fig. 2 wiedergegebene Testobjekt T befindet sich im Brennpunkt des Objektivs O_1 und

*) s. Wetthauer: *Diese Zeitschr.* **41**. *S. 148 bis 152, 1921;* Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik, 14. Auflage 1922; *S. 356 u. 359.*



bildet, mit diesem durch ein Rohr fest verbunden, den Kollimator *Co*. Zur Beleuchtung von *T* dient die Nernst- oder Metallfadenlampe *NL*. Die aus O_1 austretenden Strahlen durchsetzen das zu untersuchende Fernrohr *F*, fallen in das Objektiv O_3 der Prüfkamera *K* und erzeugen hierin an der Stelle *B* ein Bild des Testobjekts *T*, das auf der geneigten photographischen Platte *Ph* streifend aufgefangen wird. Die photographische Platte ist in ihrer eigenen Ebene senkrecht zur Achse von O_3 in der Kamera verschiebbar. Um die Untersuchung des Bildes außerhalb der Fernrohrachse vornehmen zu können, ist der Kollimator *Co* um die durch das Objektiv O_2 des Fernrohrs *F* gehende Achse A_1, die Kamera *K* um die durch die Austrittspupille des Fernrohrs *F* gehende Achse A_2 drehbar.

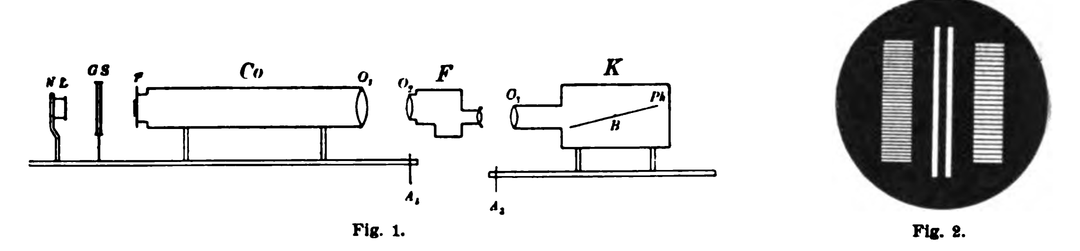


Fig. 1. Fig. 2.

Die Fig. 3 zeigt die benutzte Apparatur in der Aufsicht. Die Bezeichnung entsprechender Teile ist die gleiche wie in Fig. 1. Die beiden Hauptteile: der Kollimatorteil und die ringförmige Bettung, die die Prüfkamera und das zu untersuchende Fernrohr trägt, stehen auf einer gemeinsamen Grundplatte und sind zur Justierung unabhängig voneinander verschiebbar.

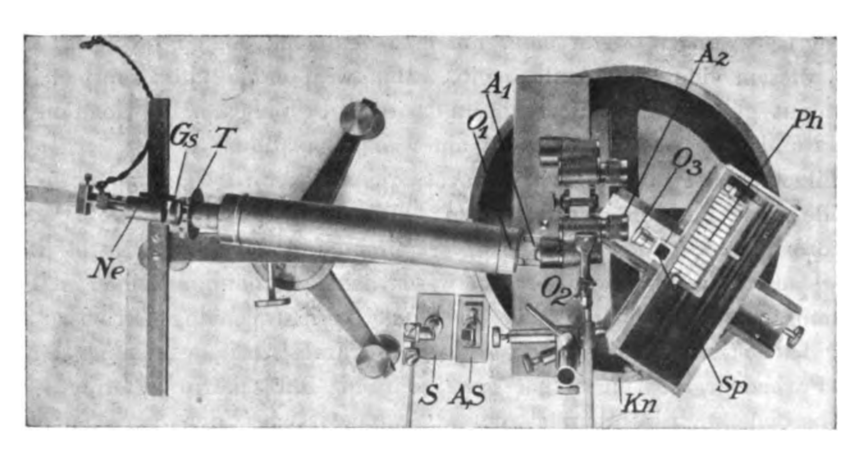


Fig. 3.

Der Kollimator befindet sich zusammen mit der Beleuchtungslampe *NL* und einer Gelbscheibe *Gs* auf einer *T*-Schiene, die um die senkrechte Achse A_1 schwenkbar ist. Das Kollimatorobjektiv, dessen Durchmesser größer sein muß als der Durchmesser des Objektivs des zu prüfenden Fernrohrs, ist ein gut sphärisch korrigiertes Fernrohrobjektiv von etwa 50 cm Brennweite und etwa 6 cm Öffnung. Die Gelbscheibe absorbiert praktisch vollkommen Licht von geringerer Wellenlänge als 460 $\mu\mu$. Der Kollimator ist zusammen mit Gelbscheibe und Lampe zur Anpassung an das zu untersuchende Fernrohr in der Höhe verstellbar und ruht auf einem Dreifuß. Um für alle Fernrohre annähernd gleich große Bilder auf der photographischen Platte zu

Digitized by Google

erhalten, benutzt man je nach der Vergrößerung des Fernrohrs F verschieden große Testobjekte.

Das zu untersuchende Fernrohr F ist in ein Stativ eingespannt, welches eine bequeme Ausrichtung gestattet. Dieses Stativ ist ebenso wie die U-Schiene, auf der die Prüfkamera verschiebbar ruht, um die senkrechte Achse A_2 der ringförmigen Bettung schwenkbar. Die Brennweite des Kameraobjektivs, dessen vorderer Hauptpunkt bei der Aufnahme in oder möglichst nahe der Achse A_2 liegt, beträgt etwa 75 mm; da es nur in seiner Achse benutzt wird, ist es ein einfaches sphärisch gut korrigiertes achromatisches Objektiv. Mit Hilfe der Spiegelreflexvorrichtung Sp der Kamera richtet man den Kollimator für die nach der Skala der ringförmigen Bettung eingestellten scheinbaren Bildwinkel aus. Der Plattenhalter in der Kamera befindet sich auf einem durch den Spindelknopf Kn senkrecht zur Achse von O_3 verschiebbaren Schlitten. Die photographische Platte kann sowohl geneigt (mit Neigung 1 : 6 bis 1 : 10) für die streifende Abbildung als auch senkrecht zur Achse von O_3 eingelegt werden. Für die senkrechte Lage der Platte ist die Kamera auf unendlich eingestellt. Die Aufnahmen mit senkrechter Plattenstellung, die bei allen untersuchten Fernrohren stets für die gleichen scheinbaren Bildwinkel ausgeführt wurden wie die Aufnahmen mit streifender Abbildung, ergänzen die letzteren, indem sie zeigen, wie bei der durch die streifende Abbildung gegebenen Lage der Bildflächen die Bildgüte nach dem Rande zu abnimmt. Eine Neueinstellung für die außerhalb der Mitte gelegenen Teile des Bildes erfolgte nicht; alle Teilaufnahmen wurden mit der Einstellung auf die beste Schärfe in der Bildmitte ausgeführt. Die Aufnahmen mit senkrechter Platte entsprechen also dem Fall, daß beim Sehen durch das Fernrohr die Akkommodationsfähigkeit des Auges ausgeschaltet ist und das Fernrohr mit der für die Bildmitte erfolgten Scharfeinstelltng benutzt wird.

Beim Arbeiten mit der beschriebenen Apparatur wurde das Fernrohr F immer so eingesetzt, daß die Dreh- und optische Achse der Kamera durch die Mitte der Austrittspupille und die Dreh- und optische Achse des Kollimators durch den vorderen Objektivlinsenscheitel ging. Durch diese Anordnung wird erreicht, daß keine störende Abblendung des Strahlenganges bei der Prüfung erfolgen kann. Eine Abblendung der aus dem Okular austretenden Strahlen, wie sie durch die Augenpupille mehr oder weniger stark auftreten kann, findet also hier nicht statt.

Die Austrittspupille des Fernrohrs hat die richtige Lage, wenn sie zentrisch zum Fadenkreuz und scharf auf der Mattscheibe des Austrittspupillensuchers (A, S in Fig. 3) erscheint. Der Austrittspupillensucher besteht aus einem auf einem Reiter befindlichen Pentagonalprisma, dessen eine Fläche mattiert und mit Fadenkreuz versehen ist. Diese als Mattscheibe dienende mattierte Prismenfläche steht senkrecht zur Kameraachse, und die Fadenkreuzmitte liegt im Schnittpunkt von Dreh- und optischer Achse der Kamera, wenn man den Reiter zum Gebrauch des Suchers auf die Kameraschiene setzt. Die Austrittspupille wird für diese Einstellung durch eine vor dem Objektiv von F angebrachte beleuchtete Mattscheibe gut sichtbar. Durch Verschieben des Kollimatordreifußes und nötigenfalls unter Benutzung der daran befindlichen Höhenverstellung wird der Schnittpunkt der Dreh- und optischen Achse des Kollimators an den vorderen Objektivlinsenscheitel von F gebracht. Man achtet darauf, daß die Querschiene des Kollimatoruntergestells etwa senkrecht zur Kameraobjektivachse verläuft, und daß Kamera- und Kollimatorachse parallel sind. Zur eigentlichen Parallelausrichtung von Kamera- und Kollimatorachse wird dann vorühergehend das Fernrohr F entfernt und durch eine Justiervorrichtung (S in Fig. 3) ersetzt, die

Digitized by Google

man an Stelle des Austrittspupillensuchers auf die Kameraschiene bringt. Diese Vorrichtung besteht aus zwei kleinen auf einer Schiene befindlichen Pentagonalprismen, deren verstellbarer Abstand mit dem Abstand von Okular- und Objektivachse des Fernrohrs *F* übereinstimmt. Durch dieses Prismensystem läßt man die Lichtstrahlen des Kollimators in das Kameraobjektiv fallen und bringt durch Drehen des Kollimators das Bild des Testobjekts in die Mitte der Mattscheibe der Spiegelreflexvorrichtung (*Sp* in Fig. 3) der Kamera, wodurch dann Kamera- und Kollimatorachse parallel gerichtet sind. Das Prismensystem kommt selbstverständlich bei dieser Ausrichtung nicht zur Anwendung, wenn Okular- und Objektivachse des zu untersuchenden Fernrohrs *F* zusammenfallen oder nahe beieinander liegen. Infolge der besonderen Bauart der Haltevorrichtung kommt das Fernrohr beim Wiedereinsetzen in seine ursprüngliche Lage. Das wiedereingesetzte Fernrohr wird dann so justiert, daß die hindurchgegangenen Strahlen das (vergrößerte) Bild des Testobjekts in der Mitte der Mattscheibe der Spiegelreflexvorrichtung erzeugen. Durch diese nachträgliche Justierung wird die Lage der Austrittspupille zur Dreh- und optischen Achse der Kamera nicht geändert, da das Stativ, welches das Fernrohr *F* trägt, zur Seitenausrichtung des Bildes um die senkrechte Achse A_3, in der die Mitte der Austrittspupille liegt, drehbar ist. Die Höhenausrichtung des Bildes erfolgt (durch Beobachtung auf der Mattscheibe der Spiegelreflexvorrichtung), ehe man das Fernrohr zur Parallelausrichtung von Kamera- und Objektivachse entfernt hat.

Eine mögliche Verschiebung des Objektivlinsenscheitels von *F* gegen die Drehachse des Kollimators (bei dieser Nachjustierung) ist im allgemeinen nur gering und ohne Nachteile, solange die Objektivöffnung des Fernrohrs *F* ganz von den aus dem Kollimator austretenden Strahlen ausgefüllt wird.

Es ist zweckmäßig, nun zunächst die Aufnahme mit senkrechter Plattenstellung zu machen. Dazu setzt man das Testobjekt der Fig. 4 ein und zieht die Spiegelreflexvorrichtung hoch, wodurch das Bild des Testobjekts auf der in den Plattenhalter der Kamera eingesetzten Mattscheibe erscheint. Da Kamera und Kollimator auf unendlich eingestellt sind, muß das der Bildfeldmitte entsprechende Mattscheibenbild scharf erscheinen, wenn auch das Fernrohr auf unendlich eingestellt ist. Das Mattscheibenbild wird mit Hilfe einer Lupe durch das an der Kamerarückwand befindliche Fenster beobachtet. Sollte wegen mangelnder Bildschärfe eine Änderung der Einstellung notwendig sein, so wird diese am Fernrohr vorgenommen. Oft zeigt das Bild für die Mitte des Fernrohrs Astigmatismus; es ist dann nicht möglich, gleichzeitig die horizontalen und vertikalen Linien oder die Kreisringe in der Mitte des Testobjekts in ihrem ganzen Umfange scharf einzustellen. Im allgemeinen wurde in diesem Falle das Fernrohr um die Okularachse gedreht, bis der Achsenschnitt, in dem die größte Ausdehnung des astigmatischen Bildes eines Objektpunktes erfolgt, die gleiche Richtung hat wie die Drehachse A_3 der Kamera. Als Kennzeichen dieser Einstellung des Achsenschnitts dienen die senkrecht verlaufenden Teile der Kreisringe des Testobjekts. Diese müssen die beste Schärfe aufweisen, die man bei Änderung der Einstellung mit dem Fernrohrtrieb erreichen kann. Auch bei unregelmäßigem Astigmatismus zeigen dann die senkrechten Linien des Testobjekts die größte bei der Abbildung von Linien erreichbare Schärfe.



Fig. 4.

Digitized by Google

Nachdem man die Mattscheibe in dem Plattenhalter durch eine photographische Platte ersetzt hat, stellt man nacheinander die Kamera für die scheinbaren Bildwinkel ein, für die die Untersuchung erfolgen soll. Dabei dient die heruntergedrückte Spiegelreflexvorrichtung der Kamera zur Einstellung des Kollimators und gleichzeitig als Lichtschutz für die photographische Platte. Die zu den scheinbaren Bildwinkeln gehörigen Kollimatorstellungen erhält man dadurch, daß man durch Drehung des Kollimators um die Achse A_1 die Mitte des Testobjekts in die Mitte der Mattscheibe der Spiegelreflexvorrichtung bringt. Für die Aufnahmen mit streifender Abbildung benutzt man das Testobjekt der Fig. 2. Nach jeder für eine Winkelstellung erfolgten Belichtung wird die photographische Platte durch eine Drehung am Knopf *Kn* so weit verstellt, daß die Teilaufnahmen sich nicht gegenseitig stören. Eine am Knopf *Kn* angebrachte Einschnappfeder gestattet diese Plattenverstellung auch im Dunkeln mit Sicherheit vorzunehmen. Die Expositionszeit ist bei Fernrohren mit 3 mm Austrittspupillendurchmesser etwa 5 Sekunden für die streifende Aufnahme, 1 Sekunde für die Aufnahme mit senkrechter Plattenstellung. Bei sämtlichen Fernrohren wurden die Untersuchungen für die gleichen scheinbaren Bildwinkel ($6^0,2$; $12^0,4$; $18^0,5$; $24^0,7$; $38^0,9$) symmetrisch zur Achse durchgeführt.

Die bei der streifenden Abbildung für die Schnittweite in Richtung der Achse des Kameraobjektivs sich ergebenden Tiefenunterschiede, welche die scharfen Stellen der Teilbilder für die von 0^0 verschiedenen Bildwinkel gegen die scharfe Stelle des Fernrohrmittenbildes zeigen, kann man leicht ausmessen. Man legt dazu die Aufnahme mit der Schichtseite auf Millimeterpapier und liest die Differenzbeträge für die Schnittweiten ab. Während bei dem Fernrohrmittenbild die Einschnürung der beiden mittleren Streifen im allgemeinen mit der Schärfe der feinen dazu senkrechten Linien zusammenfällt, d. h. in der Brennebene des Kameraobjektivs liegt, ist das bei den übrigen Teilaufnahmen gewöhnlich nicht der Fall. Hier zeigt sich in der Schärfenlage für die beiden mittleren Streifen und für die dazu senkrechten feinen Linien ein Tiefenunterschied, der das Kennzeichen für Astigmatismus ist. Die Ablesung kann dadurch erleichtert werden, daß man vor der Ausmessung die Stellen engster Einschnürung und größter Schärfe durch kleine Punkte auf der Schicht- oder Rückseite der Platte markiert. Infolge der Neigung der photographischen Platte bei den Aufnahmen mit streifender Abbildung sind alle ausgemessenen Werte etwas zu groß. Jeden ausgemessenen Wert müßte man mit dem Kosinus des Neigungswinkels der Platte multiplizieren, um den wirklichen Wert zu erhalten. Da diese Korrektion aber weniger als $2^0/_0$ ausmacht, wurde sie ebenso wie die Bildkrümmung des Kameraobjektivs, welches nur in der Achse für einen kleinen Bildwinkel benutzt wird, vernachlässigt.

Damit man durch eine Unsymmetrie der Gesamtaufnahme mit streifender Abbildung bei der Ausmessung der Platten nicht beeinflußt wird, ist es vorteilhaft, die Linie, von der aus man die Tiefenunterschiede mißt, dadurch festzulegen, daß man eine Aufnahme für die Bildfeldmitte auch zu Anfang und Schluß einer jeden Gesamtaufnahme ausführt.

Eine bessere Vorstellung über die Größe der gefundenen Abweichung erhält man, wenn man die in Millimeter gemessenen Werte in Dioptrien umrechnet. Für das benutzte Kameraobjektiv von 75 mm Brennweite ist der Zusammenhang der Millimeter und Dioptriewerte durch die Tabelle 1 gegeben.

In Übereinstimmung mit dem an der Einstellskala der Prismenfernrohre angebrachten Dioptrievorzeichen ist dieses negativ, falls gegen die Schnittweite für unend-


Digitized by Google

Tabelle 1.

Vereinigungsweite vom Hauptpunkt in mm	54,6	57,7	61,2	65,2	69,8	75,0	81,1	88,3	96,8	107,2	120,0
Vereinigungsweiten-unterschiede in mm	— 20,4	— 17,3	— 13,8	— 9,8	— 5,2	0	6,1	13,3	21,8	32,2	45,0
Dioptrien	— 5	— 4	— 3	— 2	— 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	+ 5

lich bei der Bilderzeugung eine Verkürzung derselben eintritt. Man müßte also bei hier angegebenen negativen Vorzeichen die Fernrohreinstellung auf einen negativen Dioptriewert vornehmen, wenn das scharfe Bild im Brennpunkt des Kammerobjektivs entstehen soll. Für das positive Vorzeichen ist es entsprechend umgekehrt.

Tabelle 2.

Bezeichnung des Fernrohrs	Einzelrohr	Art des Bildes	Einstellungsunterschiede in Dioptrien gegen die Bildmitte für die scheinbaren Bildwinkel										
			30°,9	24°,7	18°,5	12°,4	6°,2	0°	6°,2	12°,4	18°,5	24°,7	30°,9
1 (8 × 30)	linkes	*m*	+ 3,0	+ 1,3	+ 0,3	± 0,0	± 0,0	0	± 0,0	+ 0,2	± 0,0	+ 1,2	+ 2,9
		s	— 3,7	— 2,9	— 1,7	— 0,9	— 0,4		— 0,5	— 1,0	— 2,0	— 3,1	— 4,1
	rechtes	*m*	+ 3,0	+ 1,0	— 0,1	— 0,3	— 0,2	0	± 0,0	+ 0,2	+ 0,4	+ 1,6	+ 3,1
		s	— 4,5	— 3,4	— 2,2	— 1,1	— 0,4		— 0,4	— 0,8	— 1,6	— 2,5	— 3,8
2 (8 × 30)	linkes	*m*	+ 3,3	+ 2,9	+ 2,3	+ 1,2	+ 0,4	0	+ 0,2	+ 0,3	+ 1,1	+ 2,1	+ 2,9
		s	— 2,1	— 1,5	— 0,8	— 0,4	— 0,1		— 0,4	— 1,0	— 1,7	— 2,9	— 4,1
	rechtes	*m*	+ 3,3	+ 2,6	+ 1,6	+ 0,7	+ 0,2	0	+ 0,2	+ 0,8	+ 1,8	+ 2,5	+ 3,4
		s	— 3,3	— 2,3	— 1,4	— 0,8	— 0,4		— 0,3	— 0,9	— 1,4	— 2,7	— 4,5
3 (8 × 40)	linkes	*m*		+ 2,2	+ 1,1	+ 0,5	+ 0,2	0	— 0,4	— 0,8	— 0,1	+ 1,3	
		s		— 1,9	— 1,1	— 0,1	± 0		— 0,3	— 0,8	— 1,4	— 2,5	
	rechtes	*m*		+ 1,1	— 0,1	— 0,8	— 0,3	0	+ 0,2	+ 0,4	+ 1,3	+ 2,2	
		s		— 2,5	— 1,8	— 1,0	— 0,4		— 0,3	— 0,7	— 1,7	— 2,3	
4 (8 × 24)	linkes	*m*		+ 1,2	— 0,8	— 0,8	— 0,5	0	— 0,3	— 1,3	— 0,8	+ 1,1	
		s		— 3,8	— 2,9	— 1,6	— 0,5		— 0,5	— 1,4	— 2,8	— 4,1	
	rechtes	*m*		+ 1,1	— 0,8	— 0,9	— 0,4	0	— 0,3	— 1,0	— 1,3	+ 1,1	
		s		— 3,6	— 2,6	— 1,4	— 0,4		— 0,5	— 1,4	— 2,8	— 4,2	
5 (8 × 24)	linkes	*m*		+ 2,2	+ 1,4	+ 0,3	— 0,1	0	— 0,2	— 0,1	+ 0,4	+ 1,1	
		s		— 3,8	— 2,4	— 1,1	— 0,3		— 0,5	— 1,2	— 1,4	— 4,1	
	rechtes	*m*		+ 1,6	+ 0,7	± 0	— 0,2	0	+ 0,1	+ 0,3	+ 1,3	+ 1,6	
		s		— 4,1	— 3,6	— 2,0	— 1,2	— 0,5	— 1,0	— 1,8	— 3,5	— 4,2	
6 (8 × 24)	linkes	*m*			+ 2,9	± 0,0	— 0,2	0	— 0,6	— 0,8	+ 2,0		
		s			— 1,4	— 0,8	+ 0,1	+ 0,4	— 0,1	— 1,1	— 1,8		
	rechtes	*m*			+ 2,5	— 0,3	— 0,4	0	— 0,1	+ 0,2	+ 2,8		
		s			— 1,0	— 0,3	+ 0,5	+ 0,7	+ 0,4	— 0,2	— 0,9		
7 (8 × 21)	linkes	*m*			+ 2,5	+ 1,1	+ 0,8	0	+ 0,8	+ 1,1	+ 2,6		
		s			— 0,6	— 0,4	— 0,1		— 0,2	— 0,4	— 0,7		
	rechtes	*m*			+ 2,0	+ 0,3	— 0,3	0	+ 0,7	+ 1,7	+ 3,0		
		s			— 1,0	— 0,7	— 0,3		± 0,0	— 0,1	— 0,4		
8 (6 × 35)	linkes	*m*			+ 3,3	+ 1,1	± 0,0	0	+ 0,3	+ 1,4	+ 3,1		
		s			— 1,2	— 0,7	— 0,2		— 0,2	— 0,7	— 1,3		
	rechtes	*m*			+ 3,3	+ 1,3	± 0,0	0	+ 0,3	+ 1,6	+ 3,1		
		s			— 0,4	± 0,0	+ 0,3	+ 0,6	+ 0,5	+ 0,3	— 0,2		

Digitized by Google

Fortsetzung von Tabelle 2.

Bezeichnung des Fernrohrs	Einzelrohr	Art des Bildes	Einstellungsunterschiede in Dioptrien gegen die Bildmitte für die scheinbaren Bildwinkel										
			30°,9	24°,7	18°,5	12°,4	6°,2	0°	6°,2	12°,4	18°,5	24°,7	30°,9
9 (6 × 30)	linkes	m		+3,0	+1,0	±0	±0	0	−0,1	−0,5	+0,5	+2,6	
		s		−2,3	−1,9	−1,2	−0,6	−0,4	−0,6	−1,1	−1,8	−2,2	
	rechtes	m		+3,3	+1,4	+0,3	±0	0	−0,4	−0,8	±0,0	+1,6	
		s		−1,6	−1,3	−0,6	−0,2	+0,2	−0,1	−0,8	−1,8	−2,3	
10 (6 × 30)	linkes	m		+2,3	+1,2	+0,2	±0,0	0	±0,0	+0,2	+0,7	+1,8	
		s		−2,7	−1,7	−0,9	−0,2		−0,2	−0,8	−1,6	−2,9	
	rechtes	m		+2,2	+1,1	±0,0	−0,1	0	−0,1	±0,0	+0,7	+2,0	
		s		−2,5	−1,6	−0,9	−0,3		−0,3	−1,0	−1,8	−2,7	
11 (6 × 30)	linkes	m		+1,2	−0,8	−1,2	−0,6	0	+0,2	+0,3	+1,1	+2,5	
		s		−3,2	−2,4	−1,2	−0,4		−0,1	−0,5	−1,5	−2,6	
	rechtes	m		+0,8	−0,1	−0,4	−0,2	0	−0,4	−0,6	±0	+1,8	
		s		−2,4	−1,4	−0,7	−0,1		−0,3	−1,0	−2,2	−3,3	
12 (6 × 24)	linkes	m			−1,0	−1,7	−0,8	0	+0,8	+1,3	+2,0		
		s			−1,7	−0,5	+0,4	+0,7	+0,8	+0,3	−0,5		
	rechtes	m			−0,8	−1,4	−0,8	0	+0,3	+0,6	+1,3		
		s			−2,2	−1,3	−0,2	+0,3	+0,2	−0,3	−1,2		
13 (6 × 24)	linkes	m			+0,2	−0,1	−0,1	0	±0	±0	+0,2		
		s			−2,2	−1,1	−0,4	−0,3	−0,5	−1,1	−2,0		
	rechtes	m			+0,5	+0,1	±0	0	−0,2	−0,3	−0,3		
		s			−1,8	−0,8	−0,2		−0,3	−1,0	−2,0		
14 (6 × 24)	linkes	m			+2,8	+1,1	−0,1	0	+0,3	+1,5	+3,0		
		s			−1,0	−0,8	−0,4		−0,2	−0,5	−1,0		
	rechtes	m			+2,6	+1,0	+0,2	0	±0	+1,0	+2,6		
		s			−1,3	−0,5	0		−0,4	−0,8	−1,6		
15 (6 × 24)	linkes	m			+2,7	+0,8	+0,2	0	−0,2	+0,2	+2,6		
		s			−1,2	−0,7	−0,2		−0,4	−1,0	−1,5		
	rechtes	m			+3,0	+0,7	+0,1	0	±0	+0,3	+2,9		
		s			−0,8	−0,2	±0		±0	−0,4	−1,0		
16 (6 × 22)	linkes	m			+0,8	−0,6	−0,4	0	+0,4	+0,7	+1,6		
		s			−3,5	−1,9	−0,9	−0,4	−0,4	−1,0	−1,7		
	rechtes	m			+0,8	−0,3	−0,2	0	±0	±0	+0,7		
		s			−3,3	−1,9	−1,0	−0,5	−0,7	−1,4	−2,4		
17 (6 × 22)	linkes	m			+0,5	−0,5	−0,3	0	+0,2	+0,3	+0,8		
		s			−2,5	−1,0	−0,5		−0,2	−0,5	−1,5		
	rechtes	m			+0,7	−0,2	−0,1	0	−0,1	−0,2	−0,5		
		s			−2,0	−1,0	−0,4		−0,3	−1,0	−2,0		
18 (3 × 13,5)	linkes	m			−1,5	−1,3	−0,7	0	−0,2	−0,8	−1,0		
		s			−2,8	−1,4	−0,5		−0,3	−1,1	−2,4		
	rechtes	m			−1,7	−1,6	−0,7	0	−0,2	−0,7	−0,6		
		s			−3,3	−1,7	−0,6		−0,3	−1,0	−2,3		
19 ($3\frac{1}{2}$ × 15)	linkes	m				+0,2	−0,2	0	+0,3	+0,8			
		s				−1,7	−0,6		±0	−0,8			
	rechtes	m				+0,2	±0	0	+0,3	+0,7			
		s				−1,4	−0,5		−0,2	−0,9			
20 ($3\frac{1}{2}$ × 15)	linkes	m			−0,6	−0,4	±0	0	−0,4	−0,6	−0,8		
		s			−2,5	−0,8	±0,0	+0,5	±0	−1,4	−3,1		
	rechtes	m			−0,3	−0,2	−0,2	0	−0,2	−0,2	−0,3		
		s			−2,5	−1,5	−0,7		−0,4	−1,5	−3,3		

Digitized by Google

Nach der beschriebenen Methode wurden Prismen-, Galilei- und Zielfernrohre untersucht. Die zahlenmäßigen Prüfungsergebnisse für 20 Prismengläser sind in der Tabelle 2 zusammengestellt. Die für diese Zusammenstellung in Frage kommenden Fernrohre stammen von 10 verschiedenen Firmen. Zur Unterscheidung der Lage der astigmatischen Bilder wurden die Werte, die sich für die Lage des meridionalen Bildes, d. h. der engsten Einschnürungen der beiden mittleren Strahlenbündel, ergaben, mit *m* und die Werte für die Lage des sagittalen Bildes, d. h. für die scharfe Stelle der dazu senkrecht verlaufenden feinen Linien mit *s* bezeichnet.

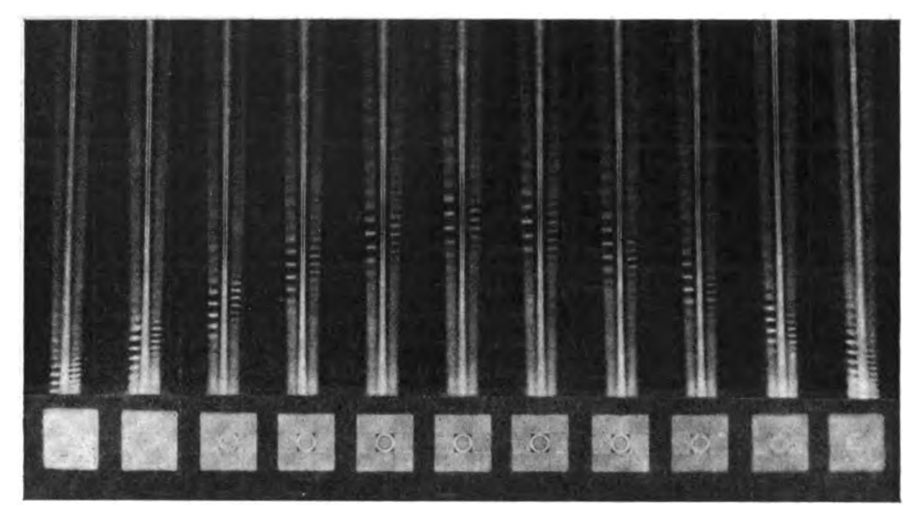


Fig. 5.

Von einer Zusammenstellung der Prüfungsergebnisse in Kurvenform wird abgesehen, dagegen sind einige typische Beispiele durch Wiedergabe der zugehörigen Aufnahmen in den Fig. 5 bis 8 gebracht.

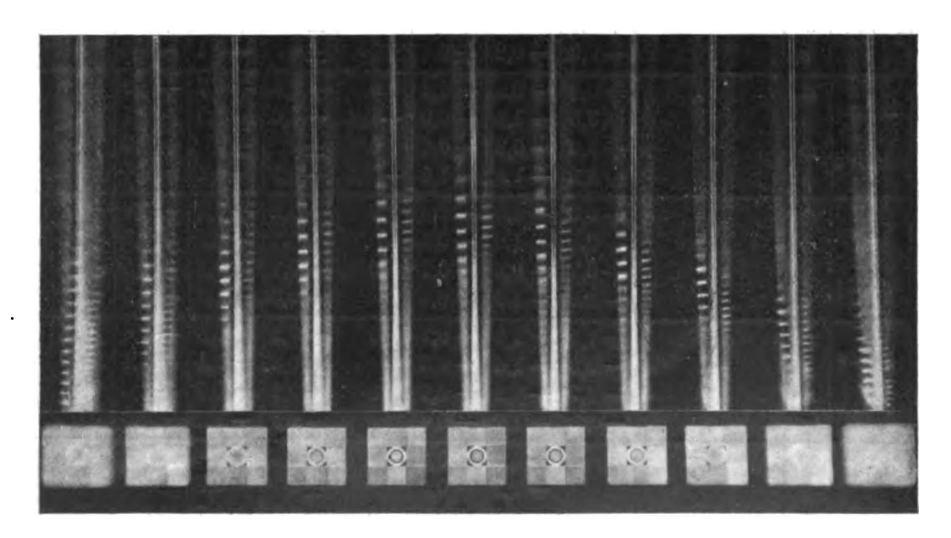


Fig. 6.

Die Aufnahme in Fig. 5 wurde mit Fernrohr 1, der Tabelle erhalten. Die Lage der Bildflächen, deren Achsenschnitt man erhält, wenn man die meridionalen und


Digitized by Google

sagittalen Bildpunkte für die verschiedenen Winkel unter sich verbindet, ist bei diesem Glase ziemlich symmetrisch zur Achse. Wie man an der Verwaschenheit der Bilder für die größeren Bildwinkel sieht, zeigt Fig. 6 das Prüfungsergebnis für ein Fernrohr mit stärkerer Koma. In der Fig. 7 ist besonders die Lage der meridionalen Bildfläche sehr unsymmetrisch; auch ist in den mittleren Teilen der mit K bezeichneten Bildstreifen Koma zu erkennen. Der Vergrößerung des Abstandes der Bildflächen von der Nullinie mit zunehmendem Bildwinkel entsprechend, nimmt die Bildschärfe bei den zu diesen streifenden Aufnahmen gehörigen Aufnahmen mit senkrechter Plattenstellung nach dem Rande des Bildfeldes zu ab.

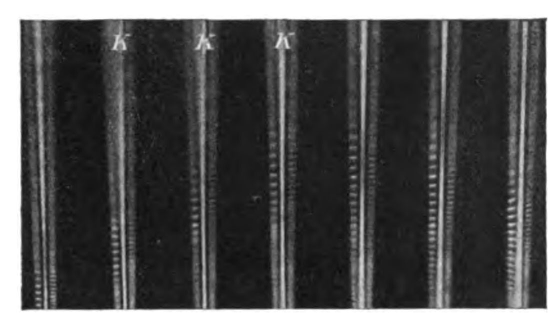


Fig. 7.

Die Fig. 8 zeigt schließlich die Aufnahme für ein Fernrohr, das etwa $^3/_4$ Dioptrien Astigmatismus in der Bildmitte besitzt. Man erkennt, daß sich die Bildflächen in der Achse nicht berühren. Andererseits durchsetzen sich die Bildflächen außerhalb der Achse noch einmal. Für diese Stellen ist der Astigmatismus aufgehoben, und da hier die Schnittweite etwa die gleiche ist wie für die senkrechten Linien in der Achse, so ergibt die entsprechende Aufnahme mit senkrechter Plattenstellung für diese außerhalb der Achse gelegenen Teile des Bildes eine bessere Schärfe als in der Bildmitte, was in Fig. 8a erkennbar ist. Nimmt man bei dem letzteren Fernrohr die Untersuchung in einem Achsenschnitt vor, der um 45° gegen den zuvor gewählten gedreht ist, so kann man weder auf die horizontalen, noch auf die vertikalen Linien des Testobjekts (Fig. 4) scharf einstellen. Es ist dann nur möglich, die kurzen unter 45° (und 135°) zu den senkrechten Linien verlaufenden Kreisbogenstücke der in der Mitte des Testobjekts befindlichen Kreisringe scharf zu erhalten. Für die senkrechte Aufnahme wurde die Einstellung auf beste allgemeine Schärfe des Bildes vorgenommen. Die Aufnahme mit streifender Abbildung zeigte in diesem Achsenschnitt für die Mitte keine astigmatische Differenz; die Lage der Bildflächen war ähnlich unsymmetrisch wie die in Fig. 7. Die Aufnahme mit senkrechter Plattenstellung wies schon im mittleren Teil mangelhafte Schärfe auf, die sich nach dem Rande des Bildfeldes zu noch verschlechterte.

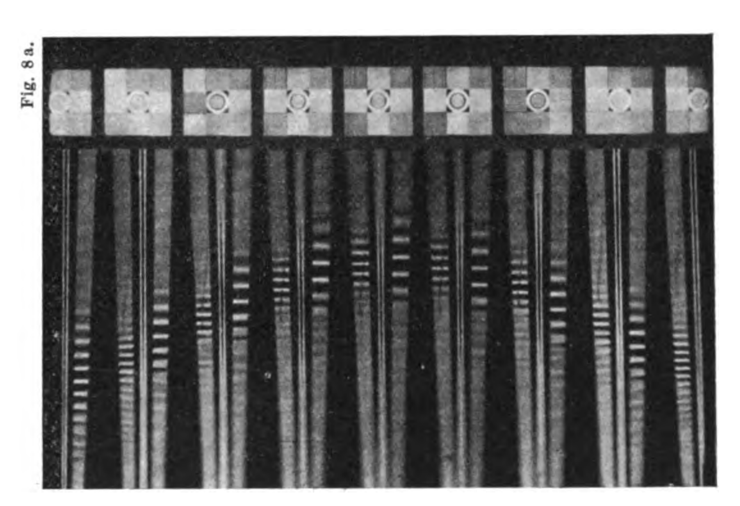

Fig. 8a.

Fig. 8.

Die Zahlen der Tabelle 2 und die Aufnahmen 5 bis 8 zeigen, daß bei den untersuchten Fernrohren nur in einem verhältnismäßig kleinen, normalerweise in der Mitte

Digitized by Google

des Bildfeldes gelegenen Teile eine gute Abbildung vorhanden ist. Die Bildschärfe nimmt infolge des starken Astigmatismus und der abweichenden Lage der Bildflächen von der Nullinie nach dem Rande zu erheblich ab. Bei symmetrischer oder annähernd symmetrischer Lage der Bildflächen kann man die gefundenen zahlenmäßigen Ergebnisse zur Beurteilung der Fernrohrtypen benutzen. Bei unsymmetrischer Lage der Bildflächen und Astigmatismus in der Achse, was auf nicht ganz einwandfrei optische oder mechanische Ausführung hindeutet, läßt das Prüfungsergebnis selbstverständlich nur die Beurteilung des geprüften Einzelrohres zu. Um bei den Untersuchungen sicher vor Zufälligkeiten zu sein, ist es zweckmäßig, die Prüfung in zwei zueinander senkrechten Achsenschnitten vorzunehmen.

Über die Abbildung von ausgedehnten, achsensenkrechten Ebenen durch eine brechende Kugelfläche mittels dünner, genau normal einfallender Büschel.

Von

Dr. M. Sundqvist, Vorsteher der städtischen Augenklinik zu Göteborg (Schweden).

Bei der Brechung durch eine Kugelfläche kann man bekanntlich unter gewissen Voraussetzungen annehmen, daß ein Punkt wieder in einem Punkt abgebildet wird.

Beim allgemeinen Fall der Kugelfläche trifft dies ja bei sogenannter normaler Inzidenz[1]) des wirksamen Strahlenbüschels zu, wenn dasselbe außerdem hinreichend dünn ist, d. h. wenn nur die dem Hauptstrahl benachbarten, die sogenannten paraxialen oder parazentralen Strahlen zur Verwendung kommen.

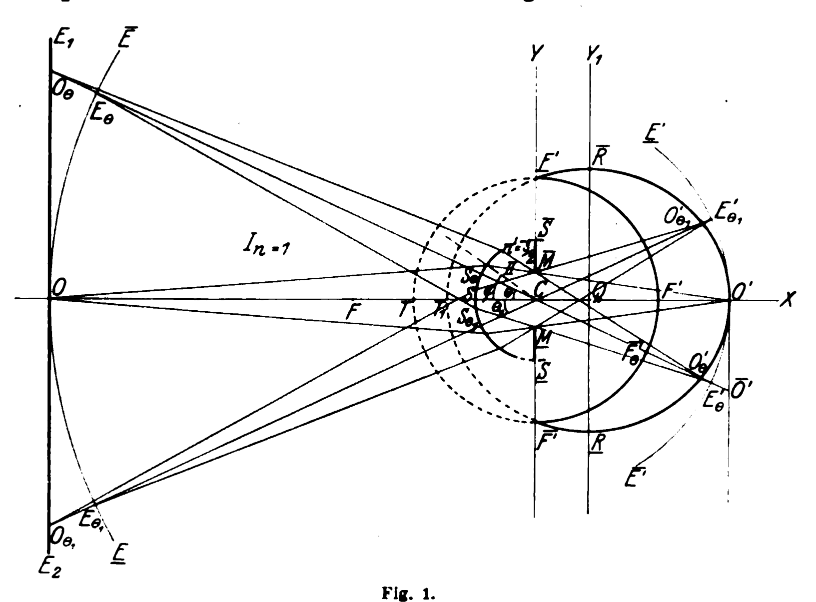


Fig. 1.

Es sei (Fig. 1) C der Mittelpunkt einer brechenden Kugelfläche, welche die Ebene der Zeichnung im Kreisbogen $\bar{S}S\underline{S}$ schneiden möge, O und O' seien zwei zu einander

[1]) Unter normaler oder senkrechter Inzidenz im allgemeinen verstehen wir, daß der Hauptstrahl des Büschels mit dem Lot der Fläche im Einfallspunkte zusammenfällt. Bei Kugelflächen geht dieser Hauptstrahl durch den Mittelpunkt der Fläche.

Digitized by Google

konjugierte Punkte der Hauptachse $OSCO'$, auf welcher also S den Scheitel der brechenden Fläche darstellt. Mittels des von O als Objektpunkt ausgehenden paraxialen und senkrecht einfallenden Büschels sehen wir O als in O' punktuell abgebildet an. Der Zentriwinkel der Randstrahlen dieses Büschels sei φ.

Näher bestimmt ist bekanntlich die Bedingung für jene punktuelle Abbildung dadurch, daß gegenüber der Winkelgröße φ selbst die zweiten und höheren Potenzen derselben vernachlässigt werden können. Der mathematische Ausdruck für diesen Grad der Annäherung ist

$$\sin\varphi = \operatorname{tg}\varphi = \varphi, \text{ (und } \cos\varphi = 1).$$

Durch O und O' denken wir uns zwei Kugelflächen gelegt, jede mit C als Mittelpunkt. Ihre Schnittkurven mit der Ebene der Zeichnung seien die Kreisbogen $\overline{E}O\underline{E}$ bzw. $\overline{E}'O'\underline{E}'$. Ferner sei eine Blende $\overline{M}\underline{M}$ so angebracht, daß ihr Mittelpunkt ebenfalls mit C zusammenfällt.

Die erstgenannte Kugelfläche durch O betrachten wir als Objektfläche. Für die von jedem Punkt derselben ausgehenden wirksamen Strahlenbüschel ist wegen der angenommenen zentralen Lage der Blende die Inzidenz genau normal, so wie dies für das Büschel von O der Fall war. Da die Blende außerdem hinreichend klein angenommen ist, so werden alle diese Normalbüschel, welche in das System (brechende Fläche + Blende) hineingelassen werden können, ebenfalls paraxial im obigen Sinne.

E_Θ ist ein beliebiger Punkt des genannten Objektbogens $\overline{E}\underline{E}$. Der Hauptstrahl $E_\Theta S_\Theta C$ des von E_Θ ausgehenden wirksamen dünnen Büschels möge mit der Hauptachse $OSCO'$ den veränderlichen Winkel Θ bilden. Natürlich geht dieser Hauptstrahl genau wie der Strahl OSC ungebrochen durch die Fläche hindurch und möge den vorher erwähnten durch O' gehenden Kreisbogen im Punkte E_Θ' schneiden. Da $CE_\Theta = CO$ und $CE_\Theta' = CO'$ kann man offenbar mit demselben Recht wie bei der Abbildung von O in O' hier den Punkt E_Θ als in E_Θ' punktuell abgebildet ansehen.

Bei der Brechung in diesem System wird die genannte sphärische Objektfläche durch O in der durch O' gehenden Kugelfläche, welche um C als Mittelpunkt beschrieben ist, Punkt für Punkt und ähnlich abgebildet, denn die Hauptstrahlen aller wirksamen Büschel schneiden sich in dem für alle drei Flächen gemeinsamen Mittelpunkt C. Der Kreisbogen $O'E_\Theta'$ stellt also die Bildkurve des Objektbogens OE_Θ dar.

An Stelle der Kugelfläche denken wir uns nun als Objekt eine Ebene durch O, welche senkrecht zur Hauptachse $OSCO'$ geht. Diese Ebene schneidet die Ebene der Zeichnung in der achsensenkrechten Geraden E_1E_2. Um nun eine erste Vorstellun von der Form der von der Objektlinie E_1E_2 erzeugten Bildkurve zu gewinnen, wollen wir folgendes hervorheben.

Der Punkt E_Θ ist in E_Θ' abgebildet. Läßt man den Punkt E_Θ sich stetig auf seiner Achse $E_\Theta C$ auf die genannte Objektlinie E_1E_2 zu bewegen, so wandert E_Θ' längs derselben Achse auf S_Θ zu. Die Achse $CS_\Theta E_\Theta$ möge die Objektlinie in O_Θ schneiden, und dieser Punkt möge in O_Θ' abgebildet sein.

Der Bildpunkt O_Θ' von O_Θ kommt also etwas näher an S_Θ zu liegen als wie es mit dem Bildpunkt E_Θ' von E_Θ der Fall war. Je größer der Winkel Θ gemacht wird, d. h. je weiter weg von O der Punkt E_Θ auf dem Bogen verlegt wird, desto größer wird natürlich die Strecke $E_\Theta O_\Theta$. Je größer aber $E_\Theta O_\Theta$ ist, desto größer muß auch nach dem oben Gesagten $E_\Theta' O_\Theta'$ werden. Für wachsende Θ, d. h. also bei der Wanderung des Punktes O_Θ auf der achsensenkrechten Geraden OE_1 von O aus nach oben, bewegt sich der entsprechende Bildpunkt O_Θ' von O' aus gerechnet nach abwärts

Digitized by Google

auf einer Kurve $O'O_\Theta'$, die sich mehr und mehr vom Kreisbogen $O'E_\Theta'$ entfernt. In derselben Weise wird die Linie OO_{Θ_1} in dem symmetrisch gelegenen Bogen $O'O_{\Theta_1}'$ abgebildet.

Im folgenden soll nun die Gestalt der unter den gemachten Voraussetzungen erhaltenen Bildkurve $O_\Theta' O' O_{\Theta_1}'$ rechnerisch näher untersucht werden. Schon jetzt lassen sich indessen zwei ganz bestimmte Punkte ohne weiteres ermitteln, und zwar diejenigen, welche $\Theta = \pm 90^0$ entsprechen. In diesen beiden Fällen liegt O_Θ nach oben bzw. unten in unendlicher Entfernung von O. Hierbei denke man sich die Gerade $E_1 E_2$ nach beiden Seiten bis ins Unendliche fortgesetzt und die brechende Fläche etwas mehr als halbkugelförmig, und zwar mit den diesen Θ-Werten entsprechenden Scheiteln in $\bar{S}$ und $\underline{S}$. Ferner muß man sich die Blende 90^0 um den Punkt C herum gedreht denken. Für diese beiden Büschel werden sämtliche Strahlen parallel zur Achse $\bar{S}C\underline{S}$ und müssen deshalb nach zwei so gelegenen Punkten $\bar{F}'$ und $\underline{F}'$ hin derart gebrochen werden, daß jeder der beiden Abstände $\bar{S}\bar{F}'$ und $\underline{S}\underline{F}'$ gleich der zweiten Brennweite $SF' = f'$ wird, wenn F' und f' den zweiten Brennpunkt bzw. die zweite Brennweite für $\Theta = 0$ bezeichnen. Die unendlich nach oben ausgedehnte Gerade $OO_\Theta E_1$ wird also in dem beschränkten Kurvenbogen $O'O_\Theta'\bar{F}'$ abgebildet, und die Gerade $OO_{\Theta_1}E_2$ entsprechend im Bogen $O'O_{\Theta_1}'\underline{F}'$.

Ferner ist klar, daß für jede Lage von O die erhaltenen Bildkurven, welche einer solchen unendlich ausgedehnten Objektlinie $E_1 O E_2$ entsprechen, alle durch diese beiden Punkte gehen müssen, in denen sie gerade ihren Abschluß finden. Schon jetzt wollen wir betreffs der Lage dieser beiden Schnittpunkte $\bar{F}'$ und $\underline{F}'$ hinzufügen, daß der numerische Wert ihres Abstandes vom Mittelpunkt $C = |f|$ ist, denn es gilt numerisch: $f' - r = f$ (Gl. 5 unten).

In einem Fall (wir sehen von dem Fall $s = r$ ab, wo die Objektlinie durch C geht) kann man sogar die ganze Bildkurve ohne weiteres konstruieren, und zwar, wenn sich der Punkt O selber unendlich weit von der brechenden Fläche befindet.

In diesem Falle werden offenbar alle Punkte einer solchen im Unendlichen gegenen, unendlich ausgedehnten Geraden auf einem Kreisbogen mit C als Mittelpunkt und vom Halbmesser CF' abgebildet. Es wird also dann der Halbkreis $\bar{F}'F'\underline{F}'$ die Bildkurve der Geraden $E_1 O E_2$.

Versteht man unter kollinearer Abbildung, daß achsensenkrechte Geraden in eben solchen abgebildet werden, so läßt sich schon aus dem Bisherigen erkennen, daß sogar in einem so einfachen Fall wie dem vorliegenden — dünne Büschel unter normaler Inzidenz in Kugelflächen — eine solche exakte Abbildung niemals zustande kommen kann. Um eine solche wenigstens angenähert als verwirklicht ansehen zu können, müssen wir den Winkel Θ in so engen Grenzen halten, daß in bezug auf diesen Winkel dieselbe Annäherung zulässig wird, welche wir bereits für den Winkel φ gelten ließen.

Wir haben also:

$$\sin\Theta = \operatorname{tg}\Theta = \Theta.$$

Für die Größe des Objektes OO_Θ bedeutet eine solche Annäherung, daß OO_Θ im Vergleich zur Entfernung CO so klein ist, daß jene Annäherung für den Winkel Θ zulässig wird.

Exakt ausgedrückt haben wir also (vgl. Fig. 1)

$$\sin\Theta = \frac{OO_\Theta}{CO_\Theta} \quad \text{und} \quad \operatorname{tg}\Theta = \frac{OO_\Theta}{CO}.$$

Digitized by Google

Da nun $\sin\Theta = \operatorname{tg}\Theta$ gesetzt werden kann, so erhalten wir $CO_\Theta = CO = CE_\Theta$, woraus folgt, daß die Strecke $E_\Theta O_\Theta$ = Null wird. Wir verlängern in Fig. 1 $O_\Theta CE_\Theta'$ bis zu ihrem Schnittpunkt mit der durch O' gehenden Normalen, den wir zum Unterschied von O' mit $\bar{O}'$ bezeichnen wollen. Entsprechend ergibt sich, daß bei dieser Annäherung ebenfalls $E_\Theta'\bar{O}'$ = Null wird.

Da also die beiden Strecken $E_\Theta O_\Theta$ und $E_\Theta'\bar{O}'$ vernachlässigt werden können, läßt sich mit demselben Recht behaupten, daß O_Θ punktuell in $\bar{O}'$ abgebildet wird, wie vorher, wo es sich bei derselben Annäherung des Winkels φ um die punktuelle Abbildung von E_Θ in E_Θ' handelte.

Das Bild von OO_Θ wird somit in diesem Falle die achsensenkrechte Gerade $O'\bar{O}'$, und wir haben es also hier mit einer kollinearen Abbildung zu tun. Auf drei Dimensionen angewandt würde eine solche Abbildung bedeuten, daß sich unter denselben Voraussetzungen als Bildfläche eine Ebene ergeben müßte, d. h. daß hinreichend kleine achsensenkrechte Ebenen in ebensolchen abgebildet werden.

Wir kehren nun zu der vorliegenden Aufgabe zurück. Es handelte sich darum, unter den gemachten Voraussetzungen — dünne Büschel unter genau normaler Inzidenz — die erzeugte Bildfläche für den Fall einer beliebig ausgedehnten achsensenkrechten Objektebene näher zu untersuchen.

Der Verfasser ist sich sehr wohl bewußt, daß diese ganze Untersuchung nur ein gewisses theoretisches Interesse darbieten kann. In der instrumentalen Optik wird mit einer oder mehreren Linsen gearbeitet. Eine Blende im Zentrum einer der vorkommenden brechenden Flächen, z. B. derjenigen, welche zuerst vom Licht getroffen wird, würde die Brechung nicht einmal für diese Fläche im obigen Sinne regulieren. In der sogenannten Kugellinse (Kugellupe) sitzt die Blende tatsächlich in dem gemeinsamen Zentrum der beiden brechenden Flächen. Indessen stimmen die Verhältnisse nur bei der Brechung in der ersten Fläche der Lupe mit den hier vorausgesetzten Verhältnissen überein, denn bei der Brechung in der zweiten Fläche ist das Objekt keine achsensenkrechte Ebene mehr, sondern eine gekrümmte Fläche, nämlich die zur ersten Fläche gehörige Bildfläche, die gerade in dieser Arbeit näher untersucht werden soll.

Die oben genannte Aufgabe fällt offenbar mit der Untersuchung der der achsensenkrechten Geraden $O_\Theta OO_{\Theta_1}$ entsprechenden Bildkurve $O'_\Theta O'O'_{\Theta_1}$ (Fig. 1) zusammen. Denn ist erst einmal diese bekannt, so ergibt sich die Bildfläche als eine Rotationsfläche und zwar mit der Bildkurve als Erzeugende und $OSCO'$ als Rotationsachse.

Wir werden im folgenden diejenigen Abstands- und Richtungsbestimmungen gelten lassen, welche nunmehr allgemein in der von den Zeisswerken ausgehenden Literatur zur Anwendung kommen.

In jedem Büschel werden also hier alle vorkommenden Abstände von dem entsprechenden Scheitel (S) der brechenden Fläche aus gerechnet, und die Richtung des Lichtes nehmen wir als die positive an.

In Fig. 1, wo das Licht im Medium I (Index n) von den Objektpunkten O, O_Θ usw. in der Richtung auf die brechende Fläche und dem Medium II (Index n') zu geht, sind laut diesen Bestimmungen die Objektabstände SO, $S_\Theta O_\Theta$ usw. negativ, während die entsprechenden Bildabstände SO', $S_\Theta O_\Theta'$ usw. als positiv gezählt werden. Die zweite Brennweite (für $\Theta = 0$) SF' wird ebenfalls positiv, während die erste Brennweite SF

Digitized by Google

welche ja immer im Vergleich zur erstgenannten auf der entgegengesetzten Seite der brechenden Fläche gelegen ist, als negativ gerechnet werden muß. Der Halbmesser SC sei mit r bezeichnet und ist in Fig. 1 positiv.

Ferner bezeichnen wir die Objekt- und Bildabstände für $\Theta = 0$ mit s bzw. s' und die erste und zweite Brennweite mit f bzw. f'.

Unter diesen Voraussetzungen gelten bekanntlich bei der Brechung in einer Fläche für paraxiale Büschel unter normaler Inzidenz die folgenden Gleichungen.

$$\frac{n'}{s'} = \frac{n}{s} + \frac{n'-n}{r} \quad 1), \qquad \text{woraus} \quad s' = \frac{n' r s}{n r + (n'-n) s} \quad 2)$$

$$f = -\frac{n r}{n'-n} \quad 3); \qquad f' = \frac{n' r}{n'-n} \quad 4); \qquad \text{woraus} \quad f + f' = r \quad 5)$$

$$\frac{f}{s} + \frac{f'}{s'} = 1 \quad 6)$$

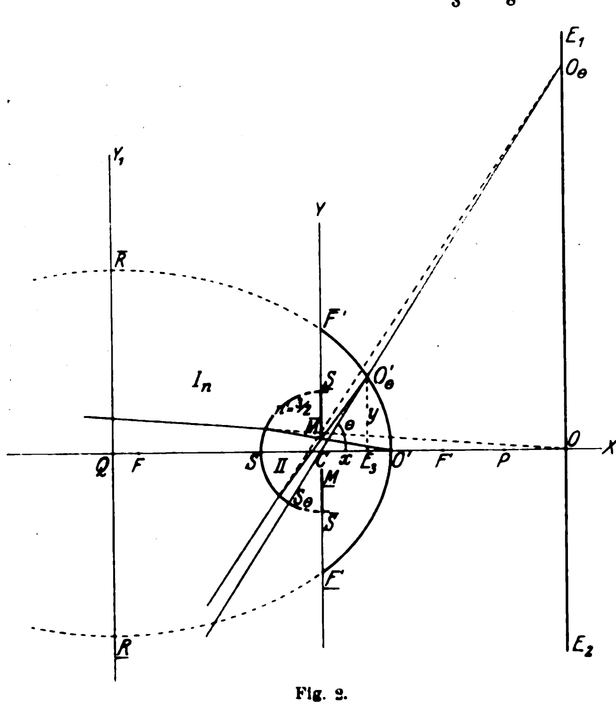


Fig. 2.

Um bei der Rechnung einigen Schwierigkeiten mit den Vorzeichen leichter zu entgehen, wollen wir nicht Fig. 1 als Ausgangsfigur wählen, sondern lieber eine solche, wo die Größen s, s', r und Θ alle positiv werden. In Fig. 2 ist dieses der Fall.

Die Objektlinie $E_1 O E_2$ ist hier virtuell. Der Hauptachsenpunkt O (im Medium I) wird in O' abgebildet und der beliebige virtuelle Objektpunkt O_Θ in O_Θ', und zwar beide so, daß sowohl die Objektabstände $SO = s$ und $S_\Theta O_\Theta = s_\Theta$ sowie die entsprechenden Bildabstände $SO' = s'$ und $S_\Theta O_\Theta' = s_\Theta'$ positiv werden. Der Radius $SC(r)$ ist, wie vorher, ebenfalls positiv.

Die Abbildung des Punktes O in O' ist durch die Grundgleichung (1) definiert:

$$\frac{n'}{s'} = \frac{n}{s} + \frac{n'-n}{r},$$

wo $s = SO$ und $s' = SO'$.

Da O_Θ' die Abbildung von O_Θ ist, müssen ebenfalls die Abstände dieser Punkte vom entsprechenden Scheitel S_Θ die Gl. (1) erfüllen.

Wir erhalten also:

$$\frac{n'}{S_\Theta O_\Theta'} = \frac{n}{S_\Theta O_\Theta} + \frac{n'-n}{r}.$$

Um die Gleichung der Bildkurve zu gewinnen, wählen wir als Koordinatenursprung z. B. den Mittelpunkt C der brechenden Fläche und als positive Richtungen der X- und Y-Achsen die Richtungen von COX bzw. CY.

Digitized by Google

Ferner gehen wir von dem beliebigem Bildpunkt O_θ' aus und bezeichnen seine rechtwinkligen Koordinaten mit $CE_3 = x$ und $E_3 O_\theta' = y$.

Es gilt also nun, die Werte von $S_\Theta O_\Theta$ und $S_\Theta O_\Theta'$ als Funktionen der Größen s, r, n, n' und der allgemeinen Koordinaten x und y ausgedrückt in die letzte Gleichung einzusetzen.

Man hat $CO = s - r$ und findet $CO_\Theta = \frac{s-r}{\cos\Theta}$.

Aber $\cos\Theta = \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}$, weshalb $CO_\Theta = \frac{(s-r)\sqrt{x^2+y^2}}{x}$

und
$$S_\Theta O_\Theta = \frac{(s-r)\sqrt{x^2+y^2}}{x} + r.$$

Ferner ist
$$CO_\Theta' = \sqrt{x^2+y^2} \quad \text{und} \quad S_\Theta O_\Theta' = \sqrt{x^2+y^2} + r.$$

Nach Einsetzen dieser Werte von $S_\Theta O_\Theta$ und $S_\Theta O_\Theta'$ in die genannte Gleichung ergibt sich
$$\frac{n'}{r+\sqrt{x^2+y^2}} = \frac{nx}{(s-r)\sqrt{x^2+y^2}+rx} + \frac{n'-n}{r}.$$

Nach Beseitigung des Nenners und einigen Umrechnungen folgt $x^2 + y^2 = 0$ und
$$[(n'-n)^2(s-r)^2 - n'^2 r^2]\,x^2 + (n'-n)^2(s-r)^2 y^2 + 2nn'r^2(s-r)\,x = n^2 r^2 (s-r)^2.$$
Letzteres ist die allgemeine Gleichung der gesuchten Bildkurve.

Nach Division durch $(n'-n)^2$ erhält dieselbe eine einfachere Form, wenn man beachtet, daß
$$-\frac{nr}{n'-n} = f \qquad 3) \qquad \text{und} \qquad \frac{n'r}{n'-n} = f'. \qquad 4)$$

Als allgemeine Form der Bildkurve ergibt sich nun:
$$[(s-r)^2 - f'^2]\cdot x^2 + (s-r)^2\cdot y^2 - 2ff'(s-r)\cdot x = f^2(s-r)^2 \qquad a)$$

Die Gleichung der gesuchten Kurve ist also vom zweiten Grade sofern $s \gtrless r$. Betreffs des Falles $s = r$ vgl. weiter unten (Seite 215).

Aus dieser Gleichung läßt sich ohne weiteres ersehen, daß die Schnittpunkte der Kurve mit der Y-Achse (für $s \gtrless r$) stets gerade die beiden Punkte $\overline{F}'$ und $\underline{F}'$ sind, welche sich vorher für den Fall $\Theta = \pm 90^0$ durch eine einfache Überlegung ergaben (Fig. 1). Setzt man nämlich in der allgemeinen Gleichung der Kurve $x = 0$, so ergibt sich $(s \lesseqgtr r)$
$$y^2 = f^2, \quad \text{woraus} \quad y = \pm f.$$

Dieser Wert von $|f|$ stimmt ja mit demjenigen überein, welcher vorher für die Abstände $C\overline{F}'$ und $C\underline{F}'$ erhalten wurde.

Dieses Verhalten besagt also, daß, wo sich auch die achsensenkrechte Objektlinie $E_1 O E_2$ befinden möge, mit Ausnahme nur wenn sie durch den Mittelpunkt C geht (also für die verschiedenen s-Werte $s \gtrless r$), so geht die Bildkurve durch diese beiden Punkte $\overline{F}'$ und $\underline{F}'$, welche somit eine konstante Lage haben.

Ferner erkennt man, daß die Gleichung für $s = \infty$ in die für den Kreis übergeht. Dividiert man nämlich mit $(s-r)^2$ und setzt darauf $s = \infty$, d. h. $s - r = \infty$, so nimmt sie die Form
$$x^2 + y^2 = f^2$$
an.

Digitized by Google

Diese Gleichung bedeutet ja einen Kreis mit dem Koordinatenursprung (hier C) als Mittelpunkt und $|f|$ als Halbmesser, welches vollkommen in Einklang steht mit dem, was bereits für den Fall $s = \infty$ vorausgesagt werden konnte.

Bestimmt man nun, um noch bessere Kontrolle der vorhergehenden Rechnung zu erhalten, diejenigen Punkte, wo diese Kurve die X-Achse schneidet, so muß natürlich nach Einsetzen von $y = 0$ in die Gleichung der Kurve einer der so erhaltenen X-Werte mit dem allgemeinen Ausdruck für den Abstand CO' identisch werden.

Dieser ist:

$$CO' = SO' - r = s' - r = \frac{n' r s}{nr + (n' - n) s} - r.$$

Woraus

$$CO' = \frac{nr(s - r)}{nr + (n' - n) s} = \frac{f(s - r)}{f - s}.$$

Es muß sich also aus der Gleichung der Kurve für $y = 0$ der Wert $x = \frac{f(s-r)}{f-s}$ ergeben. Das zeigt auch die folgende Rechnung.

Von jetzt an bezeichnen wir in der Gl. a) den Koeffizient von x^2 mit A. Unter den Voraussetzungen $A \gtrless 0$ und $s - r \gtrless 0$ (die Fälle $A = 0$ und $s - r = 0$ sollen später jeder für sich besonders untersucht werden) läßt sich also Gl. a) für $y = 0$ schreiben:

$$x^2 - \frac{2ff'(s-r)}{(s-r)^2 - f'^2} x = \frac{f^2 (s-r)^2}{(s-r)^2 - f'^2},$$

woraus

$$x_1 = \frac{f(s-r)}{s - r - f'} \qquad x_2 = -\frac{f(s-r)}{s - r + f'}.$$

Man hat Gl. 5): $f' = r - f$.

Setzt man in x_2 den Wert $f' = r - f$ ein, so ergibt sich $x_2 = \frac{f(s-r)}{f-s}$, welches tatsächlich derjenige Wert von x ist, der sich bei dieser Kontrolle ergeben sollte.

Der andere x-Wert (x_1) entspricht offenbar dem zweiten Schnittpunkt der Kurve mit der X-Achse. Derselbe möge von jetzt an mit T bezeichnet werden.

Wir haben gesehen, daß die Bildkurve für $s = \infty$ ein Halbkreis mit dem Koordinatenursprung (C) als Mittelpunkt und $|f|$ als Radius wird. Denkt man sich diesen Halbkreis zu einem ganzen Kreis ergänzt, so muß derselbe die negative X-Achse in einem Punkt T (Fig. 1) schneiden, dessen Koordinate nach Vorzeichen und Größe $= f$ ist. Dementsprechend ergibt sich auch für $s = \infty$

$$x_1 = \frac{f(s-r)}{s - r - f'} = \frac{f}{1 - \frac{f'}{s - r}} = f.$$

Die Koordinate für den Schnittpunkt der Bildkurve selbst mit der X-Achse, und zwar der positiven X-Achse, muß ja für $s = \infty$ gleich $-f$ sein. Tatsächlich ergibt sich

$$x_2 = \frac{f(s-r)}{f-s} = \frac{f - \frac{r}{s}}{\frac{f}{s} - 1} = -f.$$

Digitized by Google

Um die Bildkurve, deren Gleichung wir soeben in bezug auf den Punkt C als Nullpunkt erhalten haben, näher untersuchen zu können, müssen wir durch eine Verschiebung des Koordinatenursprungs längs der X-Achse den Koeffizient von x zum Verschwinden bringen.

Zu diesem Zweck schreiben wir die Gl. a) in der Form:

$$Ax^2 + Ny^2 + 2\,Gx = H,$$

worin

$$\begin{aligned} A &= (s-r)^2 - f'^2, \\ N &= (s-r)^2, \\ 2\,G &= -2\,ff'(s-r), \\ H &= f^2(s-r)^2. \end{aligned}$$

Unter derselben Voraussetzung ($A \gtrless 0$) wie bisher, läßt sich diese Gleichung schreiben

$$A\left(x + \frac{G}{A}\right)^2 + Ny^2 = H + \frac{G^2}{A}.$$

Verlegen wir nun den Nullpunkt nach einem Punkt Q der X-Achse mit der X-Koordinate $-\frac{G}{A}$. Die neue Y-Achse bezeichnen wir mit Y_1. In bezug auf diese neuen Koordinaten wird die Gleichung der Kurve

$$Ax^2 + Ny^2 = H + \frac{G^2}{A}$$

oder nach Einsetzen der entsprechenden Werte und einigen Umformungen:

$$[(s-r)^2 - f'^2]\,x^2 + (s-r)^2 y^2 = \frac{f^2(s-r)^4}{(s-r)^2 - f'^2}. \qquad \text{b)}$$

Setzen wir in dieser Gl. b)

den Koeffizienten von $x^2 = A$ (wie bisher),

den Koeffizienten von $y^2 = B^2$,

den Zähler der rechten Seite $= C^2$

und erhalten als allgemeine Form der Gleichung:

$$Ax^2 + B^2y^2 = \frac{C^2}{A} \quad \text{oder} \quad \frac{x^2}{\frac{C^2}{A^2}} + \frac{y^2}{\frac{C^2}{AB^2}} = 1. \qquad \text{c)}$$

Da nach den oben gemachten Voraussetzungen vorläufig $A \gtrless 0$ und $s - r \gtrless 0$, so sind die quadratischen Größen A^2, B^2 und C^2 sicher alle drei > 0. Was A selber anbelangt, so kann diese Größe $\gtrless 0$ sein.

Unter solchen Umständen ist es klar, daß sich die Gleichung der Kurve stets in einer der beiden Formen

$$\frac{x^2}{a^2} \pm \frac{y^2}{b^2} = 1$$

darstellen läßt, d. h. also die Kurve ist eine Ellipse oder eine Hyperbel, je nachdem $A \gtrless 0$, und zwar fällt im letzteren Falle die Hauptachse der Hyperbel mit der X-Achse zusammen.

Als nächste Aufgabe haben wir zu untersuchen, was $A \gtrless 0$ in bezug auf die Größe s bedeutet, d. h. für welche s-Werte wird $A > 0$, also die Kurve eine Ellipse, und für welche Werte von s wird $A < 0$, und somit die Kurve eine Hyperbel.

Nachdem diese Untersuchung durchgeführt ist, haben wir noch festzustellen, was die bisher der Rechnung entzogenen Fälle $A = 0$ und $s = r$ bedeuten können.

Digitized by Google

Für die Untersuchung von $A \gtrless 0$ läßt sich A am besten als Produkt zweier Faktoren darstellen, wobei zu beachten ist, daß nach Gl. 5) $f' - r = -f$. Man erhält

$$A = [s - f] \cdot [s - r - f'] .$$

Offenbar wird $A \gtrless 0$, je nachdem diese Faktoren dasselbe oder entgegengesetzte Vorzeichen besitzen.

Im folgenden wollen wir annehmen (vgl. Fig. 3 und 4), daß stets $n' > n$ und daß, wie gewöhnlich, n dem Mittel I und n' dem Mittel II entsprechen. Ferner ist $SC = r$, $SF = f$ und $SF' = f'$.

Wir unterscheiden zunächst den Fall

a) $r > 0$ (Fig. 3), woraus $f < 0$ und $f' > 0$.

Man findet hier $A > 0$, wenn

1. $s - f > 0$ und gleichzeitig $s - r - f' > 0$, d. h. wenn $s > f$ und gleichzeitig $s > r + f'$.

Offenbar ist die erste Bedingung in der zweiten enthalten, weshalb letztere entscheidet.

2. $s < f$ und gleichzeitig $s < r + f'$.

Die erste Bedingung überdeckt also die zweite.

Wir haben also $A > 0$, wenn entweder $s > r + f'$ oder $s < f$.

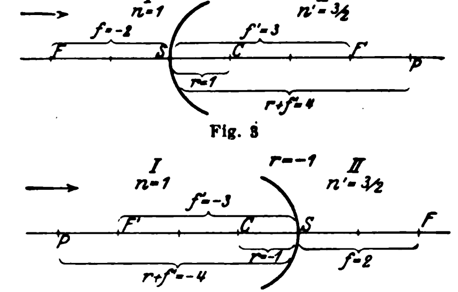


Fig. 3

Fig. 4.

Der Punkt P sei so gelegen (Fig. 3 und 4), daß $SP = r + f'$. Es hat sich also für $r > 0$ ergeben, daß $A > 0$, d. h. daß die Bildkurve eine Ellipse ist, wenn der zum Medium I gehörige Objektpunkt O in Fig. 3 entweder rechts von P $(s > r + f')$ oder links von F $(s < f)$ gelegen ist.

Für $n = 1$, $n' = \frac{3}{2}$ und den Zahlenwert des Halbmessers $= 1$ ist $f = -2$, $f' = +3$ und die Kurve folglich eine Ellipse, wenn $s > 4$ oder $s < -2$.

Man findet $A < 0$ $(r > 0)$, wenn $s > f$ und gleichzeitig $s < r + f'$. Die Kurve wird also für $r > 0$ eine Hyperbel, wenn O zwischen F und P liegt[1]).

Wir betrachten hierauf den Fall

b) $r < 0$ (Fig. 4), woraus $f > 0$ und $f' < 0$.

Es ergibt sich hier $A > 0$, wenn

1. $s > f$ und gleichzeitig $s > r + f'$.

Die erste Bedingung ist offenbar die entscheidende.

2. $s < f$ und gleichzeitig $s < r + f'$.

Die letzte Bedingung entscheidet.

Die Bildkurve ist also in diesem Falle eine Ellipse, wenn der Punkt 0 (Fig. 4) entweder rechts von F oder links von P liegt. Dagegen wird $A < 0$, die Bildkurve also eine Hyperbel, wenn 0 zwischen F und P liegt.

Um die Form und die Lage der Bildkurve besser kennen zu lernen, wollen wir

---

[1]) Die Bedingung, daß der erste Faktor negativ und der zweite positiv, ist offenbar unmöglich, denn es müßte dabei gleichzeitg $s < f$ und $s > r + f'$ sein, was natürlich nicht eintreten kann.

Digitized by Google

einige Zahlenbeispiele behandeln. Zu diesem Zwecke bringen wir die Gleichung der Kurve am besten auf die bekannte Form

$$\frac{x^2}{a^2} \pm \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

worin bekanntlich a und b die Zahlenwerte der längs der X- bzw. Y-Achse gelegenen Halbachsen darstellen. Je nachdem $A \gtrless 0$ ist, läßt sich Gl. c) schreiben:

$$\frac{x^2}{\left(\frac{C}{A}\right)^2} \pm \frac{y^2}{\left(\frac{C}{B\sqrt{|A|}}\right)^2} = 1$$

worin $|A|$ = dem absoluten Wert von A ist. Man findet also

$$a = \pm \frac{C}{A} \quad \text{und} \quad b = \pm \frac{C}{B\sqrt{|A|}}.$$

a und b geben wir hier dasjenige Vorzeichen, welches den Ausdruck positiv macht

Nach Einsetzen der aus Gl. b) entnommenen Werte für A, B und C ergibt sich

$$a = \pm \frac{f(s-r)^2}{(s-r)^2 - f'^2}$$

$$b = \pm \frac{f(s-r)}{\sqrt{(s-r)^2 - f'^2}} \quad \text{für } A > 0, \quad b = \pm \frac{f(s-r)}{\sqrt{f'^2 - (s-r)^2}} \text{ für } A < 0.$$

Der Nullpunkt soll längs der X-Achse um das Stück

$$CQ = -\frac{G}{A} = +\frac{ff'(s-r)}{(s-r)^2 - f'^2}$$

verschoben werden.

In allen folgenden Beispielen nehmen wir an, daß das Licht von links kommt, daß das Mittel I Luft sei mit dem Brechungsindex $n = 1$ und das Mittel II Glas mit dem Index $n' = \frac{3}{2}$ und daß der Halbmesser r der brechenden Fläche den absoluten Wert 2,4 cm besitzen möge. Infolgedessen haben wir $f = -2r$, $f' = 3r$, und die Abstände $SP = r + f' = 4$ r, $C\overline{F'} = C\underline{F'} = 2r$. In allen Beispielen, mit Ausnahme von Nr. 5 (Fig. 8) wird r als positiv angenommen.

Beispiel 1 (Fig. 2).

0 rechts von P. Nach obigem muß $A > 0$ und die Kurve also eine Ellipse sein

Nehmen $SO = s = 5r = 12$ cm an. Da f und f' bekannt sind, ergibt sich, am einfachsten aus Gl. 6)

$$SO' = s' = \frac{15}{7} r = 5{,}14 \text{ cm}.$$

Erhalten $A = (s-r)^2 - f'^2 = 7r^2$, also $A > 0$.

Der Nullpunkt soll längs der X-Achse das Stück

$$CQ = -\frac{G}{A} = -\frac{24}{7} r = -8{,}23 \text{ cm}$$

verschoben werden.

Sind $\overline{R}$ und $\underline{R}$ die Schnittpunkte der Kurve mit der Y_1-Achse, so erhält man

$$QO' = a = \frac{32}{7} r = 10{,}97 \text{ cm}$$

$$Q\overline{R} = Q\underline{R} = b = \frac{8}{\sqrt{7}} r = 3{,}02\, r = 7{,}25 \text{ cm}.$$

Digitized by Google

Ist die Rechnung richtig, muß die folgende Gl. gelten

$$a = |CQ| + s' - r \quad \text{oder} \quad 10{,}97 = 8{,}23 + 5{,}14 - 2{,}4 .$$

Wie man sieht, ist die rechte Seite tatsächlich $= 10{,}97$.

In dieser Figur ist $S_\Theta O_\Theta = s_\Theta$ gleich 20,5 cm gemacht worden. Infolgedessen wird nach Gl. 6)

$$S_\Theta O_\Theta' = s_\Theta' = 5{,}83 \text{ cm} .$$

Von der Ellipse kennen wir nun die Lage der Punkte O', O_Θ', $\overline{F'}$, $\underline{F'}$, $\overline{R}$ und $\underline{R}$. Natürlich ließe sich die Ellipse nach den bekannten Methoden konstruieren, da man ja die Halbachsen kennt.

Die Bildkurve zu diesem Beispiel ist nur ein kleiner Teil der betrachteten Ellipse. Die nach oben bis ins Unendliche gehende Gerade $O O_\Theta E_1$ wird in dem begrenzten Ellipsenbogen $O' O_\Theta' \overline{F'}$ und die nach unten bis ins Unendliche gehende Gerade $O E_2$ wird im Bogen $O' \underline{F'}$ abgebildet.

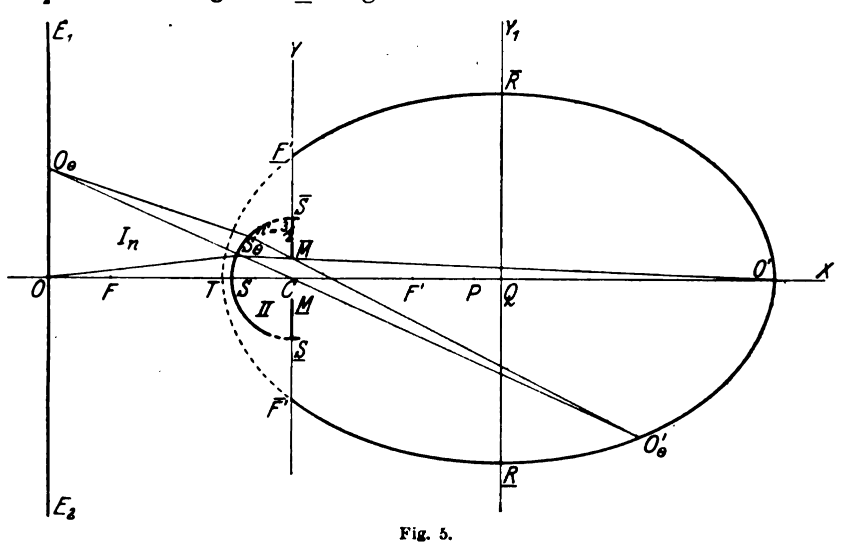


Fig. 5.

Beispiel 2 (Fig. 5). O links von F, wie in Fig. 1, aber hier bedeutend näher an F.

Es sei $SO = s = -3\,r = -7{,}2$ cm.

Man findet $SO' = s' = 9\,r = 21{,}6$ cm und $A = 7\,r^2$. A ist also auch hier positiv und die Bildkurve eine Ellipse.

Der Nullpunkt ist um das Stück $CQ = +\frac{24}{7}\,r = +8{,}23$ cm zu verlegen.

In diesem Falle muß also der Nullpunkt ebensoviel längs der positiven X-Achse verschoben werden, wie im vorigen Beispiel längs der negativen.

Man findet

$$a = \frac{32}{7}\,r = 10{,}97 \text{ cm}$$

$$b = \frac{8}{\sqrt{7}}\,r = 7{,}25 \text{ cm}.$$

In Fig. 5 haben wir $S_\Theta O_\Theta$ gleich $-8{,}1$ cm genommen, weshalb nach Gl. 6) $S_\Theta O_\Theta' = 17{,}67$ cm wird.

Digitized by Google

Die Ellipse geht natürlich durch die beiden festen Punkte $\overline{F}'$ und $\underline{F}'$. In diesem Beispiel entspricht die Bildkurve $\overline{F}'\, O_\theta'\, O'\, \underline{F}'$ dem größeren Teil der Ellipse.

In Fig. 1, welche denselben Typus darstellt (O links von F) ist

$$SO = -7r = -16{,}8 \text{ cm}, \quad SO' = \frac{21}{5} r = 10{,}08 \text{ cm},$$

$$S_\theta O_\theta = -18{,}8 \text{ cm}, \quad S_\theta O_\theta' = 9{,}67 \text{ cm}, \quad CQ = 2{,}09 \text{ cm},$$

$$QO' = a = 5{,}59 \text{ cm und } Q\overline{R} = Q\underline{R} = b = 5{,}18 \text{ cm}.$$

Man erkennt, daß in diesem Beispiel die Halbachsen a und b beinahe gleich groß sind, weshalb die Ellipse gar nicht viel von einem Kreis abweicht. Ist $SO = \infty$, wird die Kurve, wie vorher gezeigt wurde, exakt ein Kreis, und es ist ohne weiteres einzusehen, daß sich die Ellipse um so mehr der Kreisform nähert, je weiter links von S sich der Punkt O befindet. Anderseits wird die Ellipse um so mehr langgestreckt und abgeplattet, je näher der Punkt O von rechts an F heranrückt, d. h. je weite sich O' nach rechts hinaus verschiebt. In dem Augenblick, wo O mit F zusammenfällt, rückt O' ins Unendliche, und die Ellipse geht, wie sich weiter unten bei der Diskussion des Falles $A = 0$ ergeben wird, in eine Parabel über, deren Scheitel sehr nahe an dem Punkt S zu liegen kommt, oder $\left(\text{bei } n' = \frac{3}{2}\right)$ exakt mit ihm zusammenfällt.

Der zweite Schnittpunkt T der Kurve mit der X-Achse (Fig. 1 und 5) gehört zwar demjenigen Teil der Kurve $\overline{F}'T\underline{F}'$ an, welcher nicht in der Bildkurve der unendlichen Geraden $E_1 O E_2$ enthalten ist, aber die Lage dieses Punktes und die Form dieses Kurvenbogens sind doch von einem gewissen Interesse.

Dieser Punkt T bewegt sich genau wie der Punkt O' stets in derselben Richtung wie O. Bei $SO = \infty$ war derselbe so gelegen, daß seine X-Koordinate (Fig. 1) $x_1 = CT = f$ (bei C als Nullpunkt). Während O nach rechts in die Lage $SO = -7r$ gerückt ist (Fig. 1), hat sich dieser Punkt nach T_1 bewegt, und in Fig. 5, wo $SO = -3r$, hat sich der fragliche Punkt noch weiter nach rechts verschoben und befindet sich nun in der Nähe des Scheitels S der brechenden Fläche.

Daß eine solche Verschiebung von T nach derselben Richtung wie O beständig stattfinden muß, d. h. daß x_1 bei wachsendem s fortwährend zunimmt, läßt sich ebenfalls aus dem Vorzeichen von $\frac{dx_1}{ds}$ ersehen.

Aus

$$x_1 = \frac{f(s-r)}{s-r-f'}$$

ergibt sich nämlich

$$\frac{dx_1}{ds} = -\frac{ff'}{(s-r-f')^2}.$$

Da nach den benutzten Richtungsbestimmungen f und f' stets von entgegengesetztem Vorzeichen sind, so muß also diese Ableitung unter allen Umständen ($s \gtrless r + f'$) positiv bleiben.

Für $s = f$ ergibt sich $x_1 = \frac{f}{2}$. Aus dem Vorhergehenden folgt also, daß wenn sich O von ∞ nach rechts bis nach F bewegt, so variiert CT zwischen f und $\frac{f}{2}$.

Digitized by Google

Für $n = 1$ und $n' = \frac{3}{2}$ wird $f = -2r$ und $\frac{f}{2} = -r$. In diesem Falle bewegt sich also T von einem Punkt aus, der genau in der Mitte zwischen F und S liegt (Fig. 1), bis nach S.

Beispiel 3 (Fig. 6). O liegt zwischen F und P, und zwar links von S.

Es sei

$$SO = s = -\frac{3}{2}r = -\ 3{,}6\ \text{cm},$$

woraus

$$SO' = s' = -9r = -21{,}6\ \text{cm}.$$

Nach dem Bisherigen muß sich A hier als negativ ergeben, d. h. die Kurve muß eine Hyperbel werden.

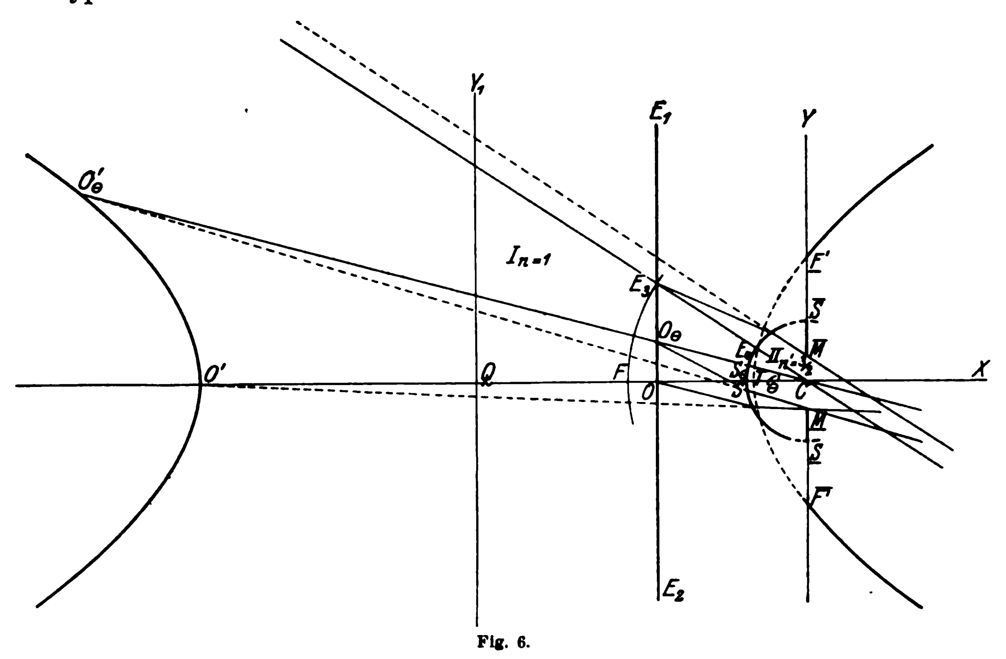


Fig. 6.

Man findet tatsächlich $A = -\frac{11}{4}r^2$.

Der Nullpunkt ist um das Stück $CQ = -\frac{60}{11}r = -13{,}09$ cm zu verschieben,

$$QO' = a = \frac{50}{11}r = 10{,}91\ \text{cm}$$

$$b = \frac{10}{\sqrt{11}}r = 7{,}24\ \text{cm}.$$

Kontrolle: $13{,}09 - 2{,}4 + 10{,}91 = 21{,}6$, stimmt also.

In Fig. 6 ist $S_\Theta O_\Theta' = -3{,}8$ cm genommen worden, woraus $S_\Theta O_\Theta' = -27{,}36$ cm.

Das Stück OO_Θ der Objektlinie OE_1 wird also auf dem Hyperbelbogen $O'O_\Theta'$ abgebildet. Man erkennt ohne weiteres, daß wenn E_3 einen Punkt an OE_1 bezeichnet, der so gelegen ist, daß $E_4E_3 = SF$ (E_4 ist der Scheitel des Leitstrahls E_3C), so müssen alle Strahlen, welche dem von E_3 ausgehenden paraxialen Büschel angehören, nach der Brechung parallel zum Hauptstrahl E_3C des Büschels fortsetzen. Das

Digitized by Google

virtuelle Bild von E_3 liegt also auf der Verlängerung von CE_3 unendlich weit entfernt, was nichts anderes bedeuten kann, als daß das Bild des beschränkten Stückes OE_3 von demjenigen Teil der Hyperbel dargestellt wird, welcher sich von O' durch O_θ' bis ins Unendliche erstreckt.

Für alle oberhalb E_3 gelegenen Punkte von OE_1 gilt, daß ihre s-Werte algebraisch kleiner (absolut genommen somit größer) als die erste Brennweite SF sind. Die ihnen entsprechenden Bildpunkte müssen infolgedessen reell sein und zwischen der Verlängerung von E_3C und der negativen Y-Achse liegen. Dem auf OE_1 oberhalb O im Unendlichen gelegenen Punkt entspricht, wie gewöhnlich, der Punkt $\bar{F}'$.

Für den oberhalb E_3 liegenden Teil der Objektlinie ist natürlich ebenfalls $A < 0$; die Bildkurve also ebenfalls eine Hyperbel. Diese Hyperbel muß noch immer die bisherige sein, aber jetzt haben wir es mit ihrem anderen, den durch $\bar{F}'$ gehenden Zweig zu tun. Dieser Zweig, der die X-Achse in T (dem zweiten Schnittpunkt der Kurve mit der X-Achse) schneiden möge, muß natürlich zu dem vorher erwähnten durch O' gehenden Zweig symmetrisch in bezug auf die Y_1-Achse liegen.

Wir haben somit die Strecke $TO' = 2a = \frac{100}{11} r$ und erhalten in Zahlen ausgedrückt $TS = TO' - SO' = \frac{100}{11} r - 9r = \frac{1}{11} r = 2{,}2$ mm.

Die Objektlinie OE_1, von O nach oben bis ins Unendliche gerechnet, wird also auf einer Hyperbel abgebildet, und zwar näher bestimmt zunächst auf demjenigen Teil, der sich im zweiten Quadranten von O' durch O_θ' nach oben bis ins Unendliche erstreckt, und nachher auf demjenigen Teil des anderen Zweiges derselben Hyperbel, der im vierten Quadranten von Unendlich bis zum Punkt $\bar{F}'$ geht.

Beispiel 4 (Fig. 7). O liegt zwischen F und P, aber rechts von S.

Es sei $SO = s = 3r$. Der Punkt O fällt also in diesem Beispiel mit F' zusammen.

Auch in diesem Falle muß sich $A < 0$ ergeben, die Kurve also eine Hyperbel werden.

Wir finden $SO' = s' = \frac{9}{5} r = 4{,}32$ cm, $A = -5r^2$.

Verschiebung des Nullpunktes $CQ = \frac{12}{5} r = 5{,}76$ cm.

$$QO' = a = \frac{8}{5} r = 3{,}84 \text{ cm},$$

$$b = \frac{4}{\sqrt{5}} r.$$

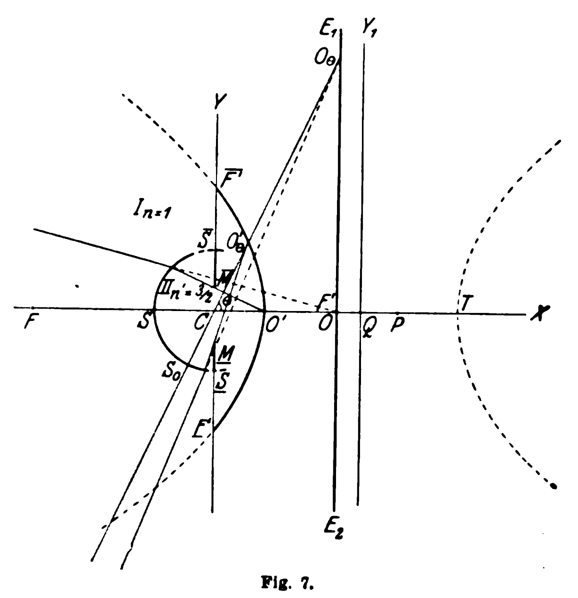


Fig. 7.

In Fig. 7 ist $S_\theta O_\theta$ zu 13,5 cm angenommen und somit $S_\theta O_\theta' = 5{,}31$ cm. Man erkennt, daß das Stück OO_θ längs des Hyperbelbogens $O'O_\theta'$ und die ganze Gerade OE_1 von O bis nach oben ins Unendliche auf dem beschränkten Bogen $O'\bar{F}'$ abgebildet wird.

Der zweite Zweig der Hyperbel schneidet die X-Achse in T. Im Gegensatz zum vorigen Beispiel hat dieser Zweig nichts mit der Abbildung zu schaffen.

Digitized by Google

Beispiel 5 (Fig. 8).

Ferner wenigstens ein Beispiel, wo der Radius negativ ist. O liegt links von P, weshalb A positiv und die Kurve eine Ellipse werden muß.

$$SC = r = -2{,}4 \text{ cm}.$$

Man hat $\quad f = -2r = +4{,}8$ cm, $\quad f' = 3r = -7{,}2$ cm.

Es sei $\quad SO = s = 5r = -12$ cm,

woraus $\quad SO' = s' = \frac{15}{7} r = -5{,}14$ cm

$$A = (s - r)^2 - f'^2 = 7r^2.$$

Der Nullpunkt wird um das Stück

$$CQ = -\frac{G}{A} = \frac{ff'(s-r)}{(s-r)^2 - f'^2} = -\frac{24}{7} r = +8{,}23 \text{ cm verschoben.}$$

$$a = \frac{32}{7} r = 10{,}97 \text{ cm}; \qquad b = \frac{8}{\sqrt{7}} r = 7{,}25 \text{ cm}.$$

In Figur 8 haben wir $S_\Theta O_\Theta$ zu $-15{,}2$ cm angenommen, so daß $S_\Theta O_\Theta' = -5{,}47$ cm.

Das Stück OO_Θ wird also auf dem Ellipsenbogen $O'O_\Theta'$ und die ganze Gerade $OO_\Theta E_1$ bis ins Unendliche hinauf auf dem beschränkten Ellipsenbogen $O'O_\Theta' \bar{F}'$ abgebildet.

Wir wenden uns nun dem bisher übergangenen Spezialfall

$$A = 0 \quad \text{oder} \quad [s - f] \cdot [s - r - f'] = 0$$

zu. Diese Gleichung ergibt

$$s_1 = f; \qquad s_2 = r + f'.$$

Der erste s-Wert entspricht offenbar dem ersten Brennpunkt F, der zweite dem vorher mit P angegebenen Punkt (Fig. 3 und 4). Die diesen Punkten entsprechende Gleichung der Bildkurve ergibt sich, wenn man in der allgemeinen Gleichung (a) $A = 0$ setzt. Nach Division dieser Gleichung mit dem Koeffizienten von y^2 $(s \gtrless r)$ ergibt sich

$$y^2 = \frac{2ff'}{s-r} x + f^2,$$

was offenbar eine Parabel darstellt deren Achse mit der X-Achse zusammenfällt.

Fig. 8.

Um diese Kurve näher kennen zu lernen, müssen wir durch Verschiebung des Nullpunktes längs der X-Achse das von x und y unabhängige Glied zum Verschwinden bringen. Nach Verschiebung des Nullpunktes um das Stück

$$CQ = -f^2 \frac{s-r}{2ff'}$$

hat man zwischen den alten und den neuen Koordinaten (letztere $= x_1$) die Beziehung:

$$x = x_1 - \frac{f^2(s-r)}{2ff'}.$$

Digitized by Google

Dieses eingesetzt ergibt als Gleichung der Parabel in bezug auf den neuen Nullpunkt Q mit der zugehörigen Y-Achse Y_1

$$y^2 = \frac{2ff'}{s-r}x \quad \text{(wobei } x_1 \text{ durch } x \text{ ersetzt).}$$

Für $s_1 = f$ gilt unter Beachtung von Gl. 5)

$$f - r = -f'.$$

Der Nullpunkt ist um $CQ = -\frac{f^2(s-r)}{2ff'} = \frac{f}{2}$ zu verlegen. Die Gleichung der Parabel wird

$$y^2 = \frac{2ff'}{f-r}x \quad \text{oder} \quad y^2 = -2fx.$$

Für $s_2 = r + f'$ gilt folgendes:

$$\text{Nullpunktverschiebung } CQ = -\frac{f(s-r)}{2f'} = -\frac{f}{2}.$$

Die Gleichung dieser Parabel ergibt sich zu

$$y^2 = 2fx.$$

Was diesen Fall $A = 0$ anbelangt, so wollen wir zu den Fig. 9 und 10 verweisen, wo der Radius positiv angenommen ist und, wie immer bisher, $n' > n$.

Wenn die Objektlinie durch F geht ($s = f$), ist nach oben der Nullpunkt bei dieser Rechnung um die Strecke $CQ = \frac{f}{2}$ zu verschieben. Da f hier negativ ist, erfolgt die Verschiebung also von C aus gerechnet längs der negativen X-Achse (Fig. 9). Für eine Objektlinie durch $P(s = r + f')$ wird der Nullpunkt ein ebenso großes Stück $\left(-\frac{f}{2}\right)$, aber nach der entgegengesetzten Richtung verschoben (Fig. 10).

In beiden Fällen schneiden ja die Parabeln die X-Achse in dem zugehörigen neuen Nullpunkt, der gleichzeitig den Scheitel darstellt. Für die erstgenannte, deren Gleichung $y^2 = -2fx$ ist, gilt, da f negativ und somit $-2f$ positiv, daß nur positive x-Werte ihre Gleichung erfüllen können. Infolgedessen liegt diese Kurve ausschließlich im ersten und vierten Quadranten des neuen Koordinatensystems und kehrt (Fig. 9) die konkave Seite nach rechts (das Licht kommt, wie bisher, von links)

Die zweite Parabel, deren Gleichung offenbar nur von negativen x-Werten befriedigt wird, liegt dagegen im zweiten und dritten Quadranten und kehrt in Fig. 10 die konkave Seite nach links.

Beide Parabeln schneiden natürlich die Y-Achse in den Punkten $\overline{F}'$ und $\underline{F}'$.

In den beiden folgenden Zahlenbeispielen 6 und 7, die den Fig. 9 und 10 entsprechen, nehmen wir wie bisher $n = 1$ und $n' = \frac{3}{2}$ an. Unter dieser Annahme, aber auch nur dann, wird $\frac{f}{2} = r$ (numerisch), weshalb nur bei dieser Voraussetzung der neue Nullpunkt, also der Scheitel der Parabel, im Falle $s = f$ (Fig. 9) genau im Scheitel S der brechenden Fläche zu liegen kommt, und im Falle $s = r + f'$ (Fig. 10) im Punkte O', wobei im letzten Falle CO' exakt gleich r wird.

Beispiel 6 (Fig. 9).

$$n = 1, \quad n' = \tfrac{3}{2}, \quad r = 2{,}4 \text{ cm},$$
$$SO = s = SF = f = -2r,$$
$$SO' = s' = \infty.$$

Digitized by Google

Der Nullpunkt wird um $CQ = \frac{f}{2} = -r$ verschoben. Der Scheitel der Parabel liegt genau in S, d. h. der zweite Schnittpunkt T der Kurve mit der X-Achse fällt bei $n' = \frac{3}{2}$ mit dem Scheitel S zusammen.

In Fig. 9 haben wir $S_\Theta O_\Theta$ zu -9 cm angenommen, woraus nach Gl. 6) $S_\Theta O_\Theta' = 15{,}43$ cm. Der Brennpunkt der Parabel ist C und die Leitlinie geht durch den Punkt E_3 derart, daß zahlenmäßig

$$S E_3 = S C = \frac{f}{2} = r.$$

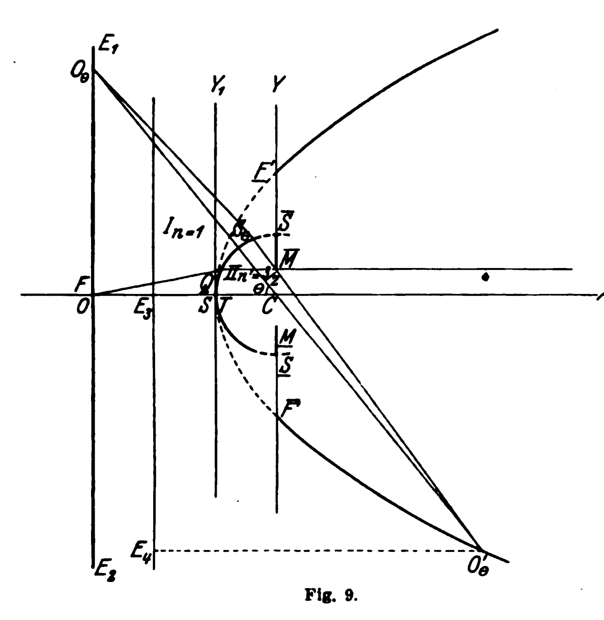


Fig. 9.

Da O_Θ' auf dieser Parabel liegt, muß, weil $O_\Theta' E_4$ senkrecht zur Leitlinie derselben geht, $O_\Theta' C$ gleich $O_\Theta' E_4$ sein. Wir haben $O_\Theta' C = 15{,}43 - 2{,}4 = 13{,}03$ cm. Mißt man $O_\Theta' E_4$ in der Figur nach, so findet man, daß der Wert sehr gut mit 13 cm übereinstimmt.

Die Objektlinie $O E_1$, von O aus nach oben bis ins Unendliche gerechnet, wird also auf demjenigen Teil der Parabel abgebildet, welcher sich im vierten Quadranten des ursprünglichen Koordinatensystems von ∞ aus gerechnet durch O_Θ' nach dem Punkt $\bar{F}'$ erstreckt. In derselben Weise entspricht der unendlichen Geraden $O E_2$ derjenige Teil, welcher sich im ersten Quadranten von ∞ bis zum Punkt $\underline{F}'$ erstreckt.

Der übrigbleibende Teil der Parabel, also der Bogen $\bar{F}' S \underline{F}'$, kommt für diese Abbildung gar nicht in Frage.

Beispiel 7 (Fig. 10).

$$S O = s = S P = r + f' = 4\,r,$$

woraus

$$S O' = s' = r - \frac{f}{2} = 2\,r.$$

Also, wie bereits gezeigt worden ist, $C O' = r$.

Der Scheitel der Parabel stellt bei diesem Spezialfall einen Bildpunkt, und zwar O' dar. Ihr Brennpunkt ist C und ihre Leitlinie geht durch den zweiten Brennpunkt F'.

In Fig. 10 haben wir $S_\Theta O_\Theta$ zu 13,6 cm angenommen, woraus $S_\Theta O_\Theta' = 5{,}32$ cm. Ist $O_\Theta' E_4$ senkrecht zur Leitlinie, muß also $O_\Theta' C$ gleich $O_\Theta' E_4 = 5{,}32 - 2{,}4 = 2{,}92$ cm sein. Nach der soeben benutzten Haupteigenschaft der Parabel findet man auch, daß $\bar{F}' C = F' C$ und $O' C = O' F'$.

Die Objektlinie $O E_1$ von O nach oben bis ins Unendliche gerechnet, wird somit in dem beschränkten Teil der Parabel abgebildet, welcher sich von O' durch O_Θ' bis nach $\bar{F}'$ erstreckt, und die unendliche Gerade $O E_2$ entsprechend auf dem Bogen $O' \underline{F}'$.

Die Parabelbogen im zweiten und dritten Quadranten des ursprünglichen Koordinatensystems kommen bei dieser Abbildung nicht in Frage. Die x-Koordinate x_1 des zweiten Schnittpunktes T der Kurve mit der X-Achse ist $= \infty$.

Digitized by Google

Der Vollständigkeit halber muß etwas über den noch übrigbleibenden Spezialfall $s = r$ gesagt werden. Dieser bedeutet ja, daß für $r > 0$ die virtuelle und für $r < 0$ die reelle Objektlinie $E_1 E_2$ durch den Mittelpunkt C der brechenden Fläche geht.

Die Gl. a) der Bildkurve wird für $s = r$ beständig $x = 0$, welche Gleichung die Y-Achse darstellt. Die Bildkurve vereinfacht sich also hier zu einer achsensenkrechten Geraden, welche mit der Richtung der Objektlinie zusammenfällt. Die Gleichung der Kurve ist unter der Annahme berechnet, daß nur genau normal einfallende Büschel wirksam sind. Im Falle $s = r$ müssen unter solchen Umständen die Hauptstrahlen aller einfallenden Büschel mit der Objektlinie selber zusammenfallen, und der Winkel Θ kann nur zwei Werte annehmen, nämlich $\pm 90^0$. Sämtliche Bildpunkte (man muß sich natürlich, wie vorher, die Blende hinreichend um den Punkt C herum gedreht denken) kommen dabei in einer Reihe längs der Objektlinie zu liegen und ergeben zusammen eine Bildlinie, welche mit der Richtung der ersteren zusammenfällt.

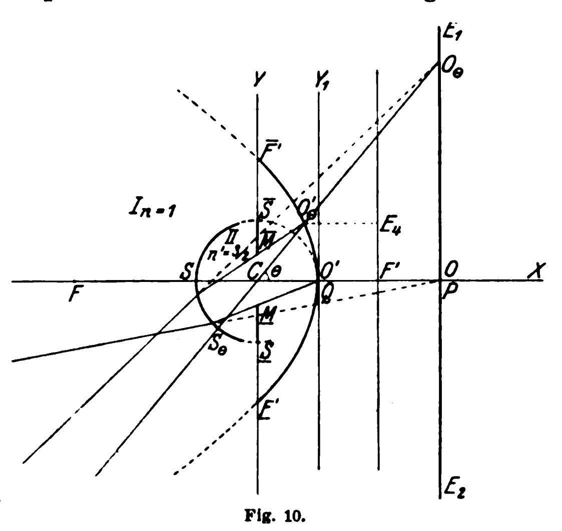


Fig. 10.

Das Ergebnis der Rechnung stimmt also auch in diesem Falle mit dem zu erwartenden Resultate überein.

Die vorangegangene Rechnung hat ergeben, daß die Bildkurven, welche einer beliebig ausgedehnten achsensenkrechten Geraden entsprechen, bei der Brechung in einer Kugelfläche unter den gemachten Voraussetzungen — paraxiale Büschel unter genau normaler Inzidenz — im allgemeinen Ellipsen oder Hyperbeln werden. In zwei Spezialfällen ergaben sich Parabeln, in einem Fall ein Kreis und in einem anderen eine Gerade. Sämtliche Kegelschnitte sind also vertreten.

Ist dagegen das Objekt eine achsensenkrechte Ebene, so ergeben sich in entsprechender Weise für die Bildflächen Rotationsflächen, und zwar im allgemeinen Ellipsoide oder Hyperboloide. In zwei Fällen ergeben sich Paraboloide, in einem eine Kugelfläche und schließlich in einem Fall eine Ebene.

Die soeben in bezug auf die Brechung in einer Kugelfläche erhaltenen Ergebnisse lassen sich leicht übertragen auf den Fall der Reflexion unter denselben Bedingungen.

Bekanntlich läßt sich die Reflexion als ein Spezialfall der Brechung betrachten, und man gelangt von letzterer zur ersteren, indem man $\frac{n'}{n} = -1$ oder $n' = -n$ setzt. Die Gleichungen 3) und 4) gehen dann in

$$f' = f = \frac{r}{2}$$

über.

In der allgemeinen Gleichung a) der Bildkurve sowie in der ganzen folgenden Rechnung sind f und f' die einzigen Größen, welche n und n' enthalten. Diese

Größen sind also die einzigen, welche von der fraglichen Spezialisierung betroffen werden.

Nach Einsetzen von $f' = f$ ergibt sich somit für Reflexion unter im übrigen gleichen Voraussetzungen wie bisher folgendes:

Die allgemeine Gleichung der Bildkurve wird

$$[(s-r)^2 - f^2]\cdot x^2 + (s-r)^2\cdot y^2 - 2f^2\cdot(s-r)\cdot x = f^2(s-r)^2, \qquad \text{d)}$$

worin $f = \frac{r}{2}$.

Der Nullpunkt wird um das Stück $CQ = \frac{f^2(s-r)}{(s-r)^2 - f^2}$ verschoben. Die Gleichung der Kurve in bezug auf den neuen Nullpunkt ergibt sich unter der Voraussetzung $(s-r)^2 - f^2 \gtrless 0$ zu

$$[(s-r)^2 - f^2]\cdot x^2 + (s-r)^2 y^2 = \frac{f^2(s-r)^4}{(s-r)^2 - f^2}.$$

Bezeichnet man in dieser Gleichung

den Koeffizient von x^2 mit A_1
den Koeffizient von y^2 mit B_1^2
den Zähler der rechten Seite mit C_1^2,

so läßt sich die letzte Gleichung schreiben:

$$\frac{x^2}{\frac{C_1^2}{A_1^2}} + \frac{y^2}{\frac{C_1^2}{A_1 B_1^2}} = 1$$

und die Kurve wird somit eine Ellipse oder eine Hyperbel, je nachdem $A_1 \gtrless 0$ ist.

Im Falle $A_1 = 0$ wird die Kurve eine Parabel. Dieses tritt für folgende zwei Werte von s ein. Aus

$$A_1 = (s-r)^2 - f^2 = (s - r + f)(s - r - f) = 0$$

ergibt sich, wenn $r = 2f$ gesetzt wird,

$$(s-f)(s-3f) = 0,$$

woraus

$$s_1 = f,$$
$$s_2 = 3f.$$

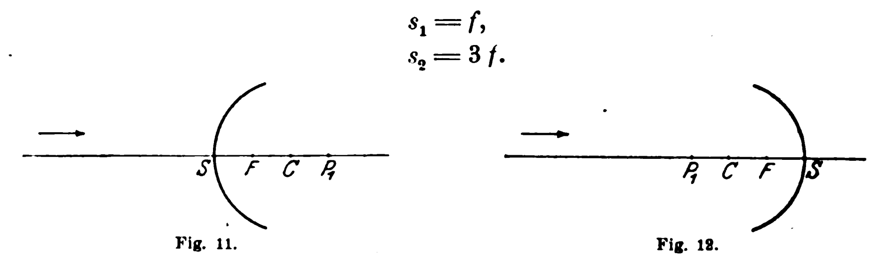


Fig. 11. Fig. 12.

In Fig. 11 ist die spiegelnde Fläche konvex, in Fig. 12 konkav (das Licht von links). Die Punkte F und P_1 sind so gelegen, daß $SF = f = \frac{r}{2}$ und $SP_1 = 3f = \frac{3}{2}r$.

Aus dem Vorhergehenden folgt also: Bei Reflexion an einer sphärischen Fläche wird unter den gegebenen Bedingungen die Bildkurve

1. eine Parabel, wenn O mit F oder P_1 zusammenfällt,
2. eine Hyperbel, wenn O zwischen F und C oder zwischen C und P_1 liegt,
3. eine Gerade, wenn O mit C zusammenfällt,
4. ein Kreis, wenn O in unendlicher Entfernung liegt,
5. eine Ellipse in allen übrigen Fällen.

Digitized by Google

Aus der allgemeinen Gleichung d) der Kurve ergibt sich für alle s-Werte $\gtrless r$, wenn $x = 0$ gesetzt wird,

$$y = \pm f = \pm \frac{r}{2}.$$

Die Schnittpunkte $\overline{F'}$ und $\underline{F'}$ der Kurve mit der ursprünglichen Y-Achse sind also auch hier für sämtliche Lagen der Objektlinie, mit Ausnahme desjenigen Falles, wenn sie durch C geht, der Lage nach konstant.

Es soll wenigstens ein Beispiel angeführt werden.

Beispiel 8 (Fig. 13). Die spiegelnde Fläche sei konkav. Der Halbmesser $SC = r = -6$ cm, woraus $f = -3$ cm, $SO = s = -12$ cm $= 4f$.

Mit den benutzten Bezeichnungen wird die Gaußsche Formel der Reflexion an einer Kugelfläche

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}, \quad \text{woraus} \quad s' = \frac{sf}{s-f}.$$

Man findet hieraus

$$SO' = s' = \tfrac{4}{3} f = -4 \text{ cm}.$$

In der Figur haben wir $S_\Theta O_\Theta$ zu -18 cm $= 6f$ angenommen. Nach derselben Formel findet man $S_\Theta O_\Theta' = \frac{6}{5} f = -3{,}6$ cm.

Der Nullpunkt wird um $CQ = \frac{2}{3} f = -2$ cm verschoben.

Fig. 13.

$$A_1 = 3 f^2.$$

Die Kurve ist somit eine Ellipse, da $A_1 > 0$.

Die eine Halbachse der Ellipse ist

$$QO' = a = \left|\frac{C_1}{A_1}\right| = \left|\frac{f(s-r)^2}{3f^2}\right| = \left|\frac{4}{3} f\right| = 4 \text{ cm}.$$

Die andere Halbachse wird

$$Q\overline{R} = b = \frac{f(s-r)}{\sqrt{A_1}} = \left|\frac{2}{\sqrt{3}} f\right| = 3{,}46 \text{ cm}.$$

Das Bencze-Wolfsche Fadenpolarplanimeter.

Von
Karl Oltay,
o. ö. Prof. der techn. Hochschule in Budapest.

1. In der Lederindustrie werden die Häute ihrer Flächengröße nach bemessen und übernommen, es ist daher erforderlich, die Flächeninhalte der einzelnen Lederstücke zu bestimmen. In Anbetracht der unregelmäßigen Gestalt des Leders, sowie der großen Anzahl der vorzunehmenden Messungen muß die Flächenbestimmung zweckmäßig mit Hilfsapparaten, mit Planimetern vorgenommen werden. Da die üblichen Instrumente der geodätischen Praxis für diese Zwecke nicht verwendet werden können, sind die Konstrukteure der Präzisionsmechanik seit langem bestrebt, Apparate hervorzubringen, die den weit geringeren Genauigkeitsansprüchen der Lederflächenbestimmungen als der geodätischen Messungen Genüge leisten und geeignet sind, bei ein-

Digitized by Google

facher Handhabung den Flächeninhalt großer unregelmäßiger Figuren zu messen. In der Praxis sind die Ledermeßapparate nach dem Sawyerschen System, die durch die mechanische Verkörperung der Simpsonschen Regel und einem einfach zu bedienenden Werk das wichtige Problem der Ledermessung lösen, am meisten verbreitet. Die Typen dieses Systemes sind wohl zu Massenarbeiten sehr geeignet, äußerst nachteilig sind jedoch die umfangreichen und detailreichen Mechanismen und die großen Unkosten der Herstellung derselben. Für Großindustrie und Handel sind diese Apparate wohl zweifellos gut verwendbar, mittlere und kleinere Betriebe jedoch können sich die Anschaffung einer derartigen Maschine des hohen Preises halber wohl kaum erlauben, in den meisten Fällen dürfte auch für Unterbringung des umfangreichen Werkes kein Platz vorhanden sein. Man war daher bestrebt, einfachere, leichter transportable und billigere Apparate herzustellen, und so entstanden die Vossschen, Seemannschen und andere Lederplanimeter. Letztere beruhen alle auf dem Prinzip der in der geodätischen Praxis angewandten Umfahrungsplanimeter und leiten die Meßzahl der Fläche durch Umfahrung der Figur mit dem am Ende eines starren Leitarmes befindlichen Führungsstift ab.

2. Auf dem Umfahrungsprinzip beruht auch das hier beschriebene Bencze-Wolfsche Fadenpolarplanimeter, welches nach dem Fadenprinzip und der Theorie des dipl. Ingenieurs Adalbert Bencze[1]), durch dem Chefkonstrukteur der Firma F. Süss — präz.-mechanische und optische Anstalt A.G. in Budapest — Ferdinand Wolf, konstruiert wurde.

Das Bencze-Wolfsche Planimeter zählt prinzipiell zu den Polarplanimetern mit wechselnder Armlänge und weicht von den bisher gebräuchlichen Typen dieser Richtung hauptsächlich in zwei grundlegenden Eigenschaften ab. Nämlich erstens ist es statt dem starren Fahrarm mit einem Faden, also mit flexibelem Material versehen und zweitens stellt es erst die verkleinerte Kopie der Originalfläche her und vollzieht die Messung am Umfang derselben.

Diesen Eigenschaften entsprechend besteht das Bencze-Wolfsche Planimeter auch in bezug auf seinen Mechanismus aus zwei Teilen, und zwar 1. aus dem Reduktionsapparat polarer Anordnung, welcher bei Umfahrung der Umgrenzungslinie der Fläche selbige in verkleinertem Maßstabe herstellt, eventuell aufzeichnet, und 2. aus dem eigentlichen Meßapparat, welcher gleichzeitig mit der Fahrstiftbewegung durch Umfahren der Grenzlinie der verkleinerten Fläche deren Meßzahl angibt.

3. Das Prinzip des polaren Reduktionsapparates ist schematisch aus Figur 1 ersichtlich. Neben einer unbeweglichen Achse P (polaren Achse) ist ein durch Federzug gespannter Faden beweglich. Der am Ende des Fadens befindliche Fahrstift Q kann in der Richtung des Fadens (radial) bewegt werden und kann sich um den Punkt P drehen (kreisbogenartig); der Fahrstift Q kann infolgedessen in jedweder Richtung bewegt werden und gestattet daher eine Umfahrung der Grenzlinien jeder beliebigen, zweckmäßig angelegten Figur. Mit dem Stift Q gleichzeitig bewegt sich der Stift Q', und zwar stets in gleicher Richtung mit dem Faden, jedoch so, daß sich

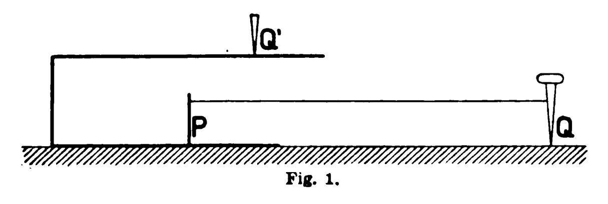


Fig. 1.

[1]) Siehe D. R.-Patentschrift Nr. 272872. Béla Bencze in Zombor, Ungarn. Polarplanimeter. Pat. im Deutschen Reiche vom 8. Nov. 1911 ab.


Digitized by Google

das Maß der Bewegung durch die Formel $\overline{PQ'} = a\overline{PQ}$ ergibt, wobei a eine vorher bestimmte konstante Zahl bedeutet. Die konstruktive Ausführung einer solchen doppelt zwangläufigen Bewegung des Stiftes Q' kann verschieden sein. Es sollen nachstehend zwei Ausführungsformen beschrieben werden.

Bei der ersten Ausführung (Fig. 2) ist der Faden am Umfange einer um die Achse P drehbaren mit Spiralfederkraft in Gegenrichtung gespannten Scheibe T befestigt, welche daher beim Ausziehen des Fadens bzw. bei radialer Bewegung des Stiftes Q in Drehung versetzt wird und mittels Zahnrad und Zahnstange die proportionale Bewegung des Stiftes Q' bewerkstelligt.

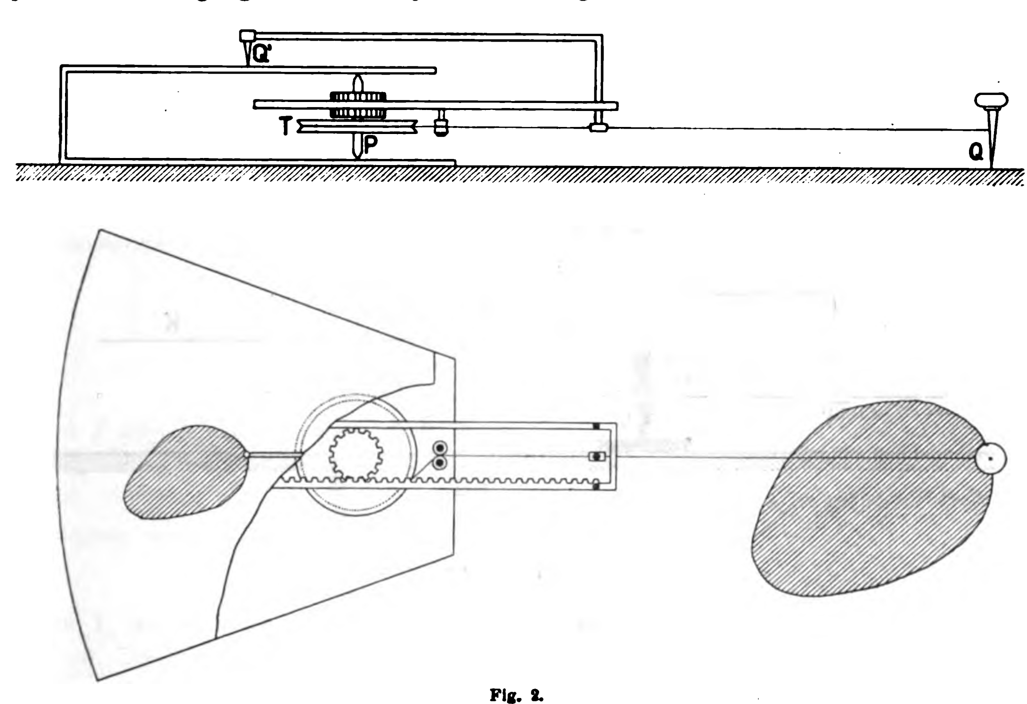


Fig. 2.

Bei der zweiten Ausführung ist in die obere Fläche der Fadenscheibe T eine archimedische (lineare) Schneckennut geschnitten und wird durch einen in diese Nut ragenden und nur in der radialen Fadenrichtung beweglichen Stift die proportionale Bewegung des Stiftes Q' zustande gebracht.

In beiden Fällen wird der Stift Q' bei der Umfahrung der Umgrenzungslinie der Fläche mit dem Stifte Q eine derselben proportionale Figur zeichnen.

Ich bemerke hier gleich, daß die zwangläufige Bewegung des Stiftes Q' in der Fadenrichtung auch so vorgesehen werden kann, daß selbiger der Bewegung des Stiftes Q nicht in linearem, sondern in quadratischem oder im Verhältnis der 3. Potenz usw. folgt, wodurch dann ein an dem Platze des Stiftes Q' senkrecht zur Fadenichtung befestigtes Meßrad proportionale Drehungen zur Fläche bzw. zum ent sprechenden Momente höheren Grades erhält.

4. Die eigentliche Flächenmeßvorrichtung ist bei gegenwärtigem Apparat ein Rotationsplanimeter polarer Anordnung, mit einem Fahrarm von veränderlicher Länge entsprechend dem Typus der in orthogonaler Ausführung als Wetli-Planimeter bekannt ist. Das Werk ist schematisch in Figur 3 dargestellt. Den Hauptteil bildet der Fahrarm q, der um die im Pole P befindliche feststehende Achse drehbar ist

Digitized by Google

und der in der bei H befindlichen Hülse auch in Längsrichtung (in Richtung seiner Achse) verschoben werden kann. Nahe dem einen Ende des Fahrarmes finden wir ein, um die mit der Fahrarmachse parallel gerichtete Achse drehbares, das Papier (die Grundplatte) berührendes Rädchen mit dem Radius r'. Da der Fahrarm in Richtung seiner Achse beweglich ist, kann auch die Entfernung ϱ des Rädchens r' vom Pol verschieden sein. An dem Fahrarm q befindet sich die um eine fixe Achse V' drehbare Scheibe K, welche mit dem Rädchen r' in Berührung steht und infolgedessen durch die Drehungen des Rädchens mitgenommen wird. In ständiger Berührung mit der Scheibe K steht das mit einem Zählwerk versehene Meßrad mit dem Radius r. Das Meßrad, welches durch Auszug des Fahrarmes nicht rollt, sondern nur gleitet, folgt der Verdrehung des Achsenarmes derart, daß seine Achsenebene stets senkrecht zur Achse des Fahrarmes steht. Wenn sich die Lage der Scheibe und des Meßrades so gestaltet, daß die mit a bezeichneten Maße gleich sind, dann ist die Entfernung des Rädchens r vom Pole P immer gleich der Entfernung ϱ des Meßrädchens r' von der Achse der Scheibe.

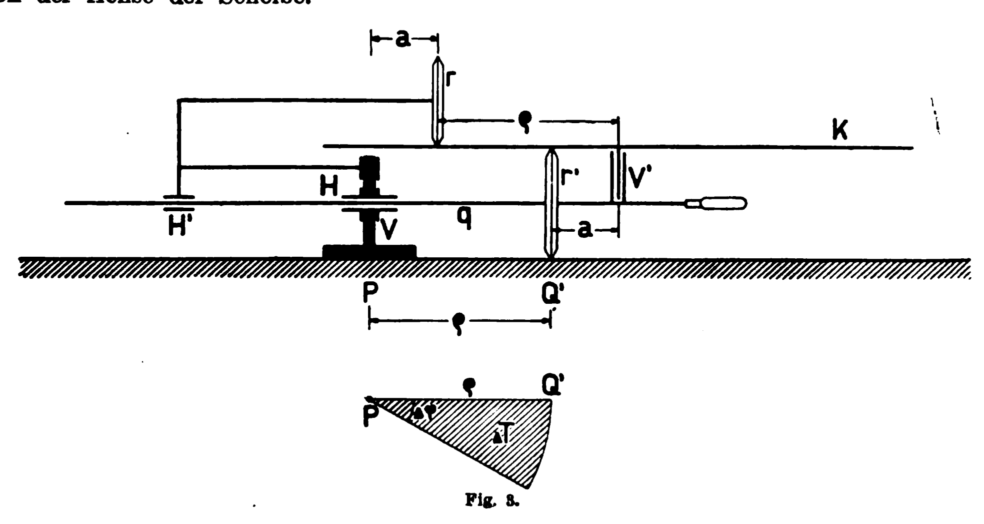


Fig. 3.

5. Wir können nun den Beweis liefern, daß bei Umfahrung der Umgrenzungslinie irgendeiner Figur mit dem Rädchen r' die entsprechende Winkelverdrehung β des Meßrädchens r proportional ist der Fläche der Figur. Wir wollen zu diesem Zwecke zuerst beweisen, daß die Bewegung des Meßrädchens bei irgendeiner Kreisbogenbewegung des Rädchens r' derart ist, daß seine Winkelverdrehung $\Delta\beta_\varphi$ proportional der Fläche ΔT des entsprechenden Kreisausschnittes wird. Wenn nämlich das Rädchen r' sich auf seiner Unterlage in einem Bogen mit dem Zentriwinkel $\Delta\varphi$ bewegt, so verdreht es sich mit einem Winkel von $\Delta\alpha'$, und zwar bei Voraussetzung einer reinen Rollenabwickelung ist

$$r'\Delta\alpha' = \varrho\Delta\varphi,$$

also

$$\Delta\alpha' = \frac{1}{r'}\varrho\Delta\varphi.$$

Durch das Rädchen r' wird die Scheibe K in Bewegung gesetzt und mit dem Winkel $\Delta\alpha''$ verdreht; demnach ist

$$r'\Delta\alpha' = a\Delta\alpha'',$$

also

$$\Delta\alpha'' = \frac{r'}{a}\Delta\alpha' = \frac{1}{a}\varrho\Delta\varphi.$$

Digitized by Google

Die Scheibe K bewegt das Meßrädchen r und verdreht es mit dem Winkel $\Delta\beta_\varphi$. Setzt man wieder eine reine Rollenabwickelung voraus, so ist

$$r\,\Delta\beta_\varphi = \varrho\,\Delta\alpha'' = \frac{1}{a}\varrho^2\Delta\varphi,$$

also

$$\Delta\beta_\varphi = \frac{1}{ar}\varrho^2\Delta\varphi = \frac{2}{ar}\Delta T,$$

womit tatsächlich bewiesen ist, daß die durch Kreisbogenbewegung des Rädchens r' bewirkte Meßradverdrehung proportional ist zur Fläche des zur Bewegung gehörigen Segmentes.

Wir wollen nun die Grenzlinie einer geschlossenen Figur mit demRädchen r' umfahren und die Verdrehung des Meßrädchens mit β annehmen. Dann kann man schreiben

$$\beta = \lim_{\Delta\varphi=0}\{\Sigma\Delta\beta_\varrho + \Sigma\Delta\beta_\varphi\},$$

wobei $\Delta\beta_\varrho$ und $\Delta\beta_\varphi$ Meßradverdrehungen sind, welche elementaren radialen bzw. elementaren Kreisbogenbewegungen entsprechen. Da nun aber bei Umfahrung einer geschlossenen Figur $\sum\Delta\beta_\varrho = 0$ ist, so erhalten wir

$$\beta = \lim_{\Delta\varphi=0}\sum\Delta\beta_\varphi = \lim_{\Delta\varphi=0}\sum\frac{1}{ar}\varrho^2\Delta\varphi,$$

$$\beta = \frac{2}{ar}\int\frac{1}{2}\varrho^2\,d\varphi = \frac{2}{ar}T,$$

wobei T die Fläche der umfahrenen Figur ist.

Laut dieser Gleichung ist

$$T = \tfrac{1}{2}ar\beta,$$

oder aber, wenn wir statt β die Umdrehungszahl n setzen

$$T = (\pi a r)\,n = T_1 n,$$

wobei T_1 die Konstante des Apparates bedeutet.

6. Die Vereinigung des polaren Reduktionsapparates mit der geschilderten Planimetertype ergibt das Bencze-Wolfsche Fadenplanimeter. Die Vereinigung geschieht dadurch, daß man an der Stelle der Spitze Q' des Reduktionsapparates das Leitrad r' anbringt und mit diesem das beschriebene polare Rotationsplanimeter verbindet.

Dieses gemeinsame System, oder aber die erste Type des Bencze-Wolfschen Planimeters ist in schematischer, maßstäblich jedoch ungefähr richtiger Darstellung in Fig. 4 ersichtlich, seine äußeren Ansichten zeigen Fig. 5, 6 und 7.

Wie aus Fig. 4 ersichtlich, dreht sich um eine in der festen Grundplatte A präzis gelagerte Achse P, die durch die Feder S gespannte Fadenspulscheibe, die an ihrem Umfange mit Nut versehen, zum Aufwickeln des Fadens f bestimmt ist. Am äußersten freien Ende des Fadens f ist der Fahrstift Q befestigt. An der oberen Fläche der Scheibe T ist eine schneckenlinienförmige Vertiefung (Führungsnut) angebracht, in welche der an einem Schlitten befindliche Stift p hineinragt. Die Scheibe T wird beim Ausziehen des Fadens naturgemäß verdreht, wodurch sich der Stift p in der Richtung des Fadens verschiebt, und zwar bei dem zur Ausführung gelangten Apparat um $^1/_{26}$ Fadenauszug, d. h. also, der lineare Maßstab der Reduktion beträgt 1:26. Der Stift p bewegt das Rädchen r' und oben die Zeichenspitze Q', welch letztere die verkleinerte Kopie der umfahrenen Figur aufzeichnet. Das Rädchen r' versetzt die Scheibe K durch Vermittelung des Zahnräderpaares r'' in Umdrehung, wodurch wiederum das Meßrädchen r bewegt wird, dessen Umdrehungen an den Zeigern m und m' ab-

Digitized by Google

gelesen werden können. Da die Lederflächen meist in Quadratfuß engl. angegeben werden, ist der Zeiger *m* zur Angabe der ganzen Quadratfuß und der Zeiger *m'* zur unmittelbaren Angabe der Zehntel eingerichtet. Hundertstel können am Zeiger *m'* noch leicht geschätzt werden. Das Zeigerwerk ist übrigens mit einer Nullstellvorrichtung versehen, welche ermöglicht, daß die Zeiger durch Zug an einer Schnur selbsttätig auf Null springen und die Messungen somit stets mit der Anfangsstellung O vorgenommen werden können.

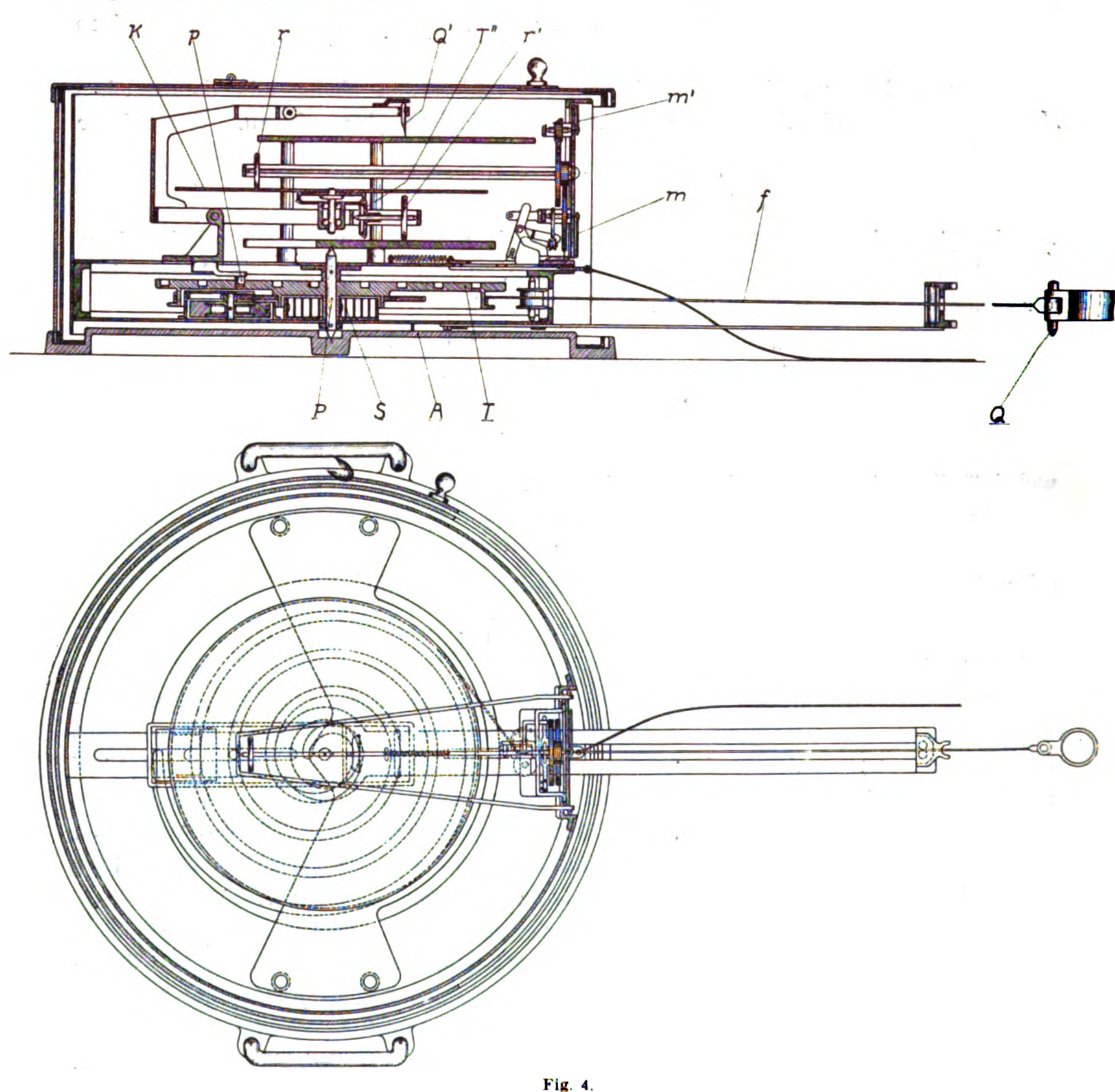


Fig. 4.

Das Meßbereich des Planimeters beträgt 50 Quadratfuß engl.

Der Apparat ist vollkommen eingekapselt und nur die zum Gebrauch notwendigen Teile sind zugänglich. Alle anderen Teile sind nur nach Entfernung der äußeren Hülle sichtbar und greifbar, wodurch einerseits eine Beschädigung der feinen Meßteile ausgeschlossen ist und anderseits eine gesicherte Eichung des Instrumentes ermöglicht wird.

Digitized by Google

Zum Schutze der empfindlichen Teile ist der Apparat mit einer Arretiervorrichtung versehen, welch letztere beim Schließen der vorn befindlichen Schiebetüre automatisch in Tätigkeit tritt.

Äußerlich ist der Apparat eine Trommel von 180 mm Höhe und 365 mm Durchmesser. Sein Gewicht beträgt 14 kg.

Der Faden war beim Versuchsapparat eine 0,2 mm starke Klaviersaite aus Stahl. Der endgültige, speziell für diesen Zweck angefertigte Metallfaden hat einen Durchmesser von 1,5 mm.

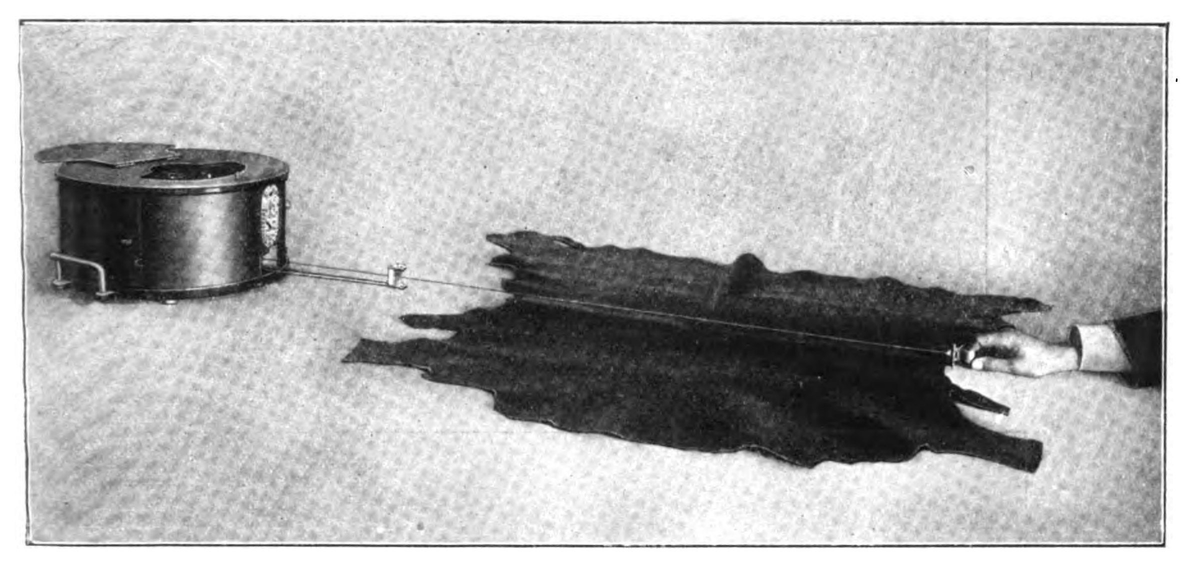


Fig. 5.

Diesen Umstand hebe ich darum besonders hervor, weil die vor der Scheibe *T* angebrachte Fadenführung den endgültigen Schnurmaßen entsprechend angefertigt war und es daher vorkommen konnte, daß der Faden stellenweise übereinander zu liegen kam, was die Genauigkeit unbedingt verringern mußte. Ein anderer, die Genauigkeit ebenfalls nachteilig beeinflussender Umstand war der, daß der Apparat während der Versuche auf 4 Gummifüßen ruhte, wodurch kleine elastische Verdrehungen möglich waren.

Der Faden wurde durch eine starke Stahlspiralfeder gespannt. Mit einem einfachen Federdynamometer haben wir beim Auszug des Fadens in den verschiedenen Entfernungen folgende Fadenspannungen festgestellt:

Entfernung: cm	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250
Spannung: kg	0,50	0,75	0,75	0,75	1,00	1,25	1,25	1,50	1,55	1,55	1,75

Die Spannungsveränderungen sind ziemlich bedeutend, wir konnten uns jedoch bei den Versuchen überzeugen, daß die Genauigkeit der Umfahrung bei einiger Übung dadurch nicht wesentlich beeinflußt wird.

Eine äußerst wichtige Grundbedingung zur richtigen Wirkung des Apparates ist die, daß der Faden die Kreisbogenbewegungen des Fahrstiftes sehr genau dem Drehteil des Werkes übermittelt, das heißt, daß der Faden gewissermaßen als starrer Arm fungiert. Um dies zu erreichen, ist der Apparat auch mit einem, beim Gebrauch ausziehbaren starren kürzeren Leitarm versehen, dessen Benutzung beim Umfahren


Digitized by Google

größerer Figuren nicht unterlassen werden soll. Ich bemerke, daß die weiter unten mitgeteilten Versuche alle mit ausgezogenem Leitarm vorgenommen worden sind.

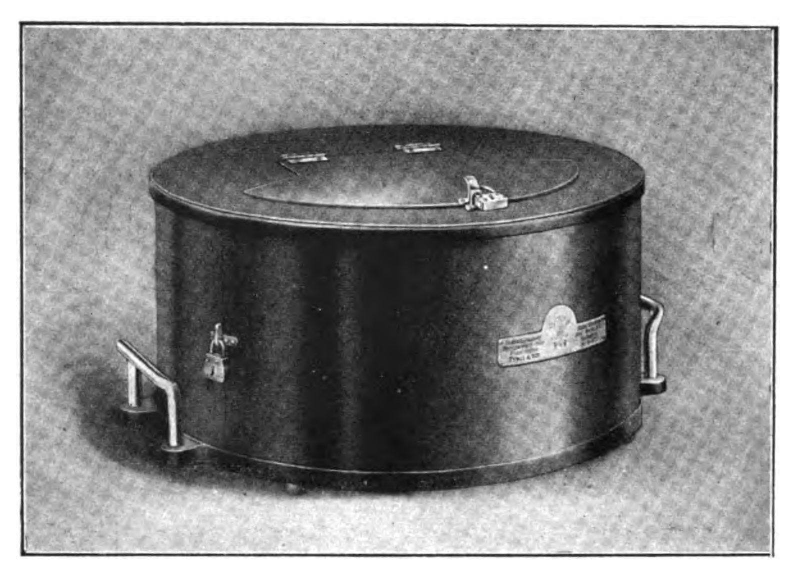


Fig. 6.

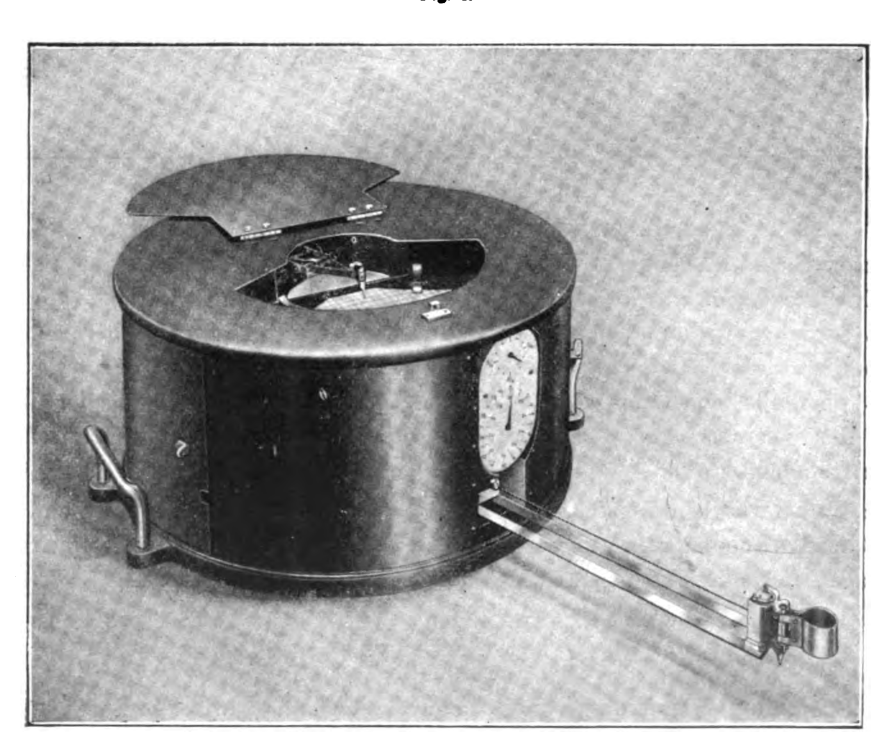


Fig. 7.

7. Ein in einem sonst durch gewissenhafte Messung erhaltenen Meßergebnis befindlicher Fehler ε setzt sich im allgemeinen stets aus einem konstanten, einem regelmäßigen und einem unregelmäßigen Teil zusammen, also

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{konstant}} + \varepsilon_{\text{regelmäßig}} + \varepsilon_{\text{unregelmäßig}}.$$



Digitized by Google

In solchem Falle kann der Fehler auch immer so geschrieben werden:

$$\varepsilon = \alpha + \varepsilon_v,$$

wobei α eine Konstante bedeutet, die sich einerseits aus dem konstanten Teil des Fehlers, andererseits aus dem Mittelwerte des regelmäßigen Fehlers zusammensetzt, ε_v jedoch den zufälligen Teil des regelmäßigen Fehlers, der übrig bleibt, wenn man den Mittelwert davon abzieht und den unregelmäßigen Fehler zusammenfaßt. Letzterer ist der, den man Zufallsfehler nennt, während α der konstante Teil des Fehlers ist.

Wenn wir vom Fehler auf den mittleren Fehler übergehen, so ist der dem ε (Gesamtfehler) entsprechende mittlere Fehler mit μ und der dem ε_v entsprechende mit μ_v bezeichnet

$$\mu = \sqrt{\alpha^2 + \mu_v^2}.$$

μ bedeutet den mittleren Gesamtfehler eines Meßergebnisses, μ_v hingegen den mittleren Zufallsfehler desselben.

Der mittlere Gesamtfehler eines Planimeters kann bestimmt werden durch vielmalige Umfahrung einer Fläche, deren Größe vorher so gemessen wurde, daß der Fehler um vieles kleiner ist, als der der Planimetermessung. In diesem Falle können nämlich die Abweichungen der durch Messung mit dem Planimeter erhaltenen Werte von dem bekannten Werte der Fläche, mit rechtmäßig zulässiger Vernachlässigung, als wirkliche Fehler (ε) angesehen werden, der mittlere Gesamtfehler kann also aus der Formel

$$\mu = \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n}}$$

berechnet werden, wobei n die Anzahl der mit dem Planimeter ausgeführten Flächenbestimmungen angibt.

Der mittlere Zufallsfehler kann mit Hilfe der λ Abweichungen von den Mittelwerten der durch wiederholte Umfahrung der gleichen Fläche erhaltenen Meßergebnisse bestimmt werden.

Nämlich

$$\mu = \sqrt{\frac{[\lambda\lambda]}{n-1}},$$

wobei n die Anzahl der Messungen bedeutet.

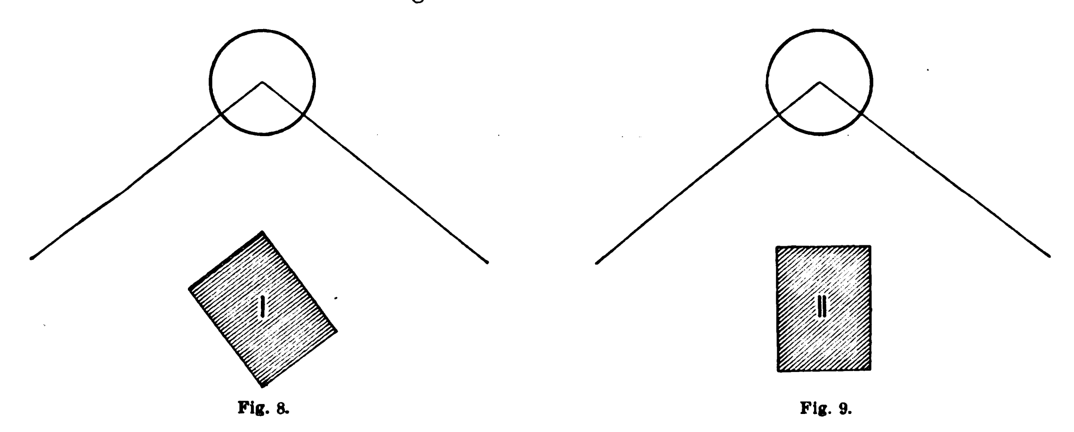


Fig. 8. Fig. 9.

8. Meine Untersuchungen betreffs der mit dem Bencze-Wolfschen Planimeter erreichbaren Genauigkeit habe ich hauptsächlich in zwei Richtungen angestellt. Erstens führten wir Versuche zur Prüfung der von der Placierung des Planimeters herrüh-

Digitized by Google

renden eventuellen Wirkungen aus und zweitens trachteten wir den Zusammenhang der Genauigkeit mit der Größe der Fläche, aus den Messungsergebnissen verschieden großer Flächen zu bestimmen.

9. Die Versuche der ersten Gruppe bestanden darin, daß wir eine 3,77 Quadratfuß engl. ($= 0,3500\ m^2$) große oblongumförmige Fläche in verschiedenen Lagen in den Meßraum des Planimeters legten und in jeder Lage positive und negative Umfahrungen anstellten. Für die Stellung der Flächen hatten wir sechs Grundlagen angenommen, nämlich die mit I, II und III bezeichneten „Diagonal-", „Längs-" und „Querlagen" (Fig. 8, 9, 10), des weiteren die mit *b*, *k*, *j* bezeichneten „linksseitigen", „mittleren" und „rechtsseitigen" Lagen (Fig. 11). Die diesen sechs Grundlagen entsprechenden neun verschiedenen Lagen wurden dann in fünf verschiedenen Entfernungen wiederholt; und zwar immer in zwei entgegengesetzt gerichteten Umfahrungen, so daß wir im ganzen 90 Umfahrungen vorgenommen haben. Die Umfahrungen wurden zur Vermeidung der einseitigen individuellen Fehler von drei verschiedenen Personen, den Herren Assistenten St. Rédey, H. Horchler und E. Polgár ausgeführt.

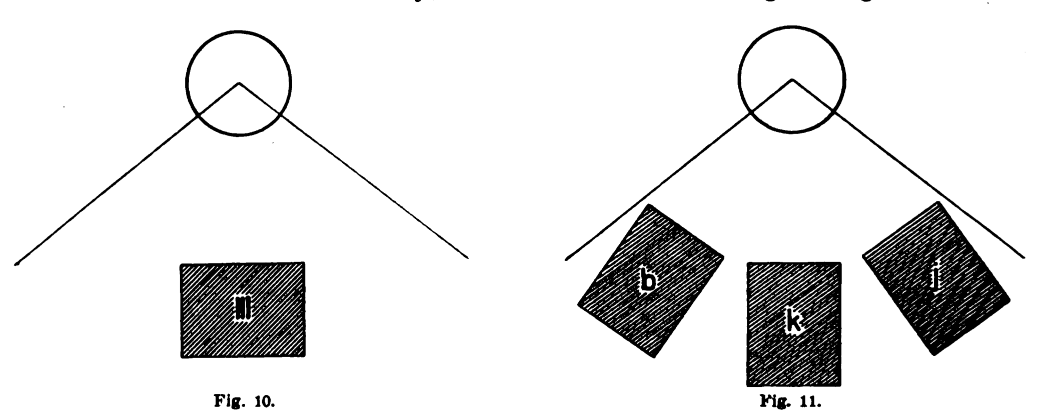


Fig. 10. Fig. 11.

Da wir die Flächen des umfahrenen Oblongums vorher sehr genau bestimmt hatten, kann man die hiervon abweichenden, durch die Messungen erhaltenen Flächenwerte als die wahren Messungsfehler betrachten. Der Umfang der Zeitschrift gestattet eine ausführliche Wiedergabe der Meßergebnisse nicht und ich beschränke mich darauf, nur die Endergebnisse, d. h. die mittleren Gesamtfehlerwerte auf eine einzige Messung (Umfahrung) bezogen mitzuteilen. Die Werte des mittleren Gesamtfehlers auf die einzelnen Grundlagen bezogen zeigt folgende Tabelle.

Lage der Fläche	Anzahl der Messungen	Mittlerer Gesamtfehler einer einzigen Messung $\mu = \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n}}$
I. Diagonalgrundlage	30	± 0,041 engl. □ Fuß
II. Längsgrundlage	30	± 0,048 „ „
III. Quergrundlage	30	± 0,037 „ „
b. linksseitige Grundlage	30	± 0,046 „ „
k. mittlere Grundlage	30	± 0,042 „ „
i. rechtsseitige Grundlage	30	± 0,037 „ „

Wie ersichtlich, zeigen diese Werte keine wesentlichen Abweichungen, da ja die Hundertstel nur durch Schätzung erhalten werden.

10. Betrachten wir nun einmal die Wirkung der Entfernung. Zu diesem Zwecke habe ich die, sich aus dem auf dieselben Entfernungen bezogenen Messungen

Digitized by Google

ergebenden Fehler zusammengefaßt. Die hieraus berechneten und wieder auf eine Messung (Umfahrung) bezogenen mittleren Gesamtfehler sind folgende:

Entfernung vom Pol des Planimeters bis zum entferntesten Punkt der Figur	Anzahl der Messungen	mittlerer Gesamtfehler einer einzigen Umfahrung
157 cm	18	± 0,028 engl. □ Fuß
179 „	18	± 0,037 „ „
201 „	18	± 0,034 „ „
223 „	18	± 0,056 „ „
245 „	18	± 0,057 „ „

Laut dieser Tabelle ist die Abhängigkeit des mittleren Fehlers von der Entfernung wohl gering, sie ist jedoch sehr gut zu erkennen. Mit dem Wachsen der Entfernung wächst auch der mittlere Fehler, was hauptsächlich zwei Gründen zuzuschreiben ist, 1. der von der Biegsamkeit des Fadens herrührenden Krümmungen und der damit verbundenen kleinen Schwingungen, deren Größe und Wirkung bei wachsender Entfernung stärker wird, 2. der Unsicherheit der Führung auf der Grenzlinie, die bei größerer Entfernung der größeren Zugkraft und der starken Veränderlichkeit derselben halber auch größer sein kann.

11. Der andere Teil der Prüfungen, ausgeführt durch mehrmaliges Messen von drei verschieden großen und verschieden geformten Flächen, bezog sich einesteils auf die Erforschung der Wirkungen der regelmäßigen Fehlerquellen, andernteils auf die Feststellung der erreichbaren Genauigkeit.

Jede einzelne Fläche wurde in verschiedenen Lagen und in abwechselndem Umfahrungssinn wieder von drei Beobachtern gemessen. Die Ergebnisse fasse ich in folgender Tabelle zusammen:

Einfache Messungen.

Lfd. Nr.	Form der Fläche	Größe der Fläche □ F. engl.	Anzahl der Messungen	μ mittlerer Gesamt-	μ_v mittlerer Zufalls-	α konstanter
				Fehler einer einzigen Messung □ Fuß engl.		
1	Kreis	1,00	54	± 0,036	± 0,029	± 0,02
2	Oblongum	3,77	90	± 0,044	± 0,042	± 0,01
3	Oblongum	16,50	26	± 0,058	± 0,058	± 0,00

In dieser Tabelle ist die Geringfügigkeit des konstanten Fehlers auffallend, was darauf hinweist, daß wenig konstante und regelmäßige Fehlerquellen vorhanden sind.

Ich bemerke, daß auf die Fläche

$T = 1{,}00$ das Mittel der 54 Messungen 0,99
auf $T = 3{,}77$ „ „ „ 90 „ 3,76
und auf $T = 16{,}50$ „ „ „ 26 „ 16,49

Wert ergeben hat, d. h. die auf eine Fläche bezogenen Mittel sämtlicher Messungen weichen nur um 0,01 ab von dem als fehlerfrei annehmbaren Wert.

Die ausgeführten Messungen genügen zweifellos nicht, um zwischen dem Fehler und der Größe der Fläche eine etwaige Regelmäßigkeit feststellen zu können. Die zwischen den zu den verschiedenen Flächengrößen gehörigen μ-Werten bestehenden kleinen Abweichungen weisen offenbar darauf hin, daß zwischen μ und T kein einfaches Verhältnis besteht.

Digitized by Google

Wenn ich den annähernden, aber oft gebrauchten Zusammenhang nehme, daß

$$\mu = c\sqrt{T}$$

ist, so ist auf Grund meiner Messungen

falls $T = 1{,}00$ □Fuß engl. $c = 0{,}036$
„ $T = 3{,}77$ „ „ $c = 0{,}023$
„ $T = 16{,}50$ „ „ $c = 0{,}014$,

oder aber durchschnittlich $c = 0{,}023$ und somit ist für das geprüfte Fadenplanimeter

$$\mu = 0{,}024\sqrt{T}.$$

12. Es dürfte interessant sein, obige Prüfungen auch auf die Mittel der Vor- und Rückwärtsmessungen auszudehnen.

Für diese gilt folgende Tabelle:

Mittel der Vor- und Rückwärtsmessungen.

Lfd. Nr.	Größe der Fläche □Fuß engl.	Anzahl der Meßergebnisse	μ mittlerer Gesamt-	μ_v mittlerer Zufalls-	α konstanter
			Fehler der Mittel einer Vor- und Rückwärtsmessung □Fuß engl.		
1	1,00	27	± 0,023	± 0,019	± 0,01
2	3,77	45	± 0,037	± 0,037	± 0,00
3	16,50	13	± 0,040	± 0,040	± 0,00

oder aber die Formel $\mu = c\sqrt{T}$ zu Grunde gelegt:

Wenn $T = 1{,}00$ engl. Quadratfuß, dann ist $c = 0{,}023$
„ $T = 3{,}77$ „ „ „ „ $c = 0{,}019$
„ $T = 16{,}50$ „ „ „ „ $c = 0{,}010$
somit durchschnittlich $c = 0{,}018$

d. h. für die Mittel ist

$$\mu = 0{,}018\sqrt{T}.$$

13. Die ziemlich zahlreichen Versuche weisen also darauf hin, daß die Biegungen des Fadens, Abweichungen von der Geraden und die wohl hiervon herrührenden Schwingungen, die Dehnungen des Fadens, sowie die im inneren Teil des Werkes auftretenden Reibungen, Gleitungen und toten Gänge regelmäßige und konstante Fehler nur in dem Maße verursachen können, daß die Größe derselben, die Meßfähigkeit des Instrumentes kaum erreicht. Darauf weist auch der Umstand hin, daß in der Abwechslung der Vorzeichen der Fehler keine Regelmäßigkeit zu beobachten ist. Es steht zwar fest, daß bei den Vorzeichen der Fehler die positiven häufiger sind, — von den durch 170 Umfahrungen erhaltenen 170 Fehlerwerten sind 99 positive, 60 negative und 11 gleich Null — diese Erscheinung ist jedoch aller Wahrscheinlichkeit nach dem Fehler der Multiplikationskonstante des Apparates zuzuschreiben.

Ebenso weisen auch die Vorzeichen der Abweichungen bei dem Vor- und Rückwärtsmessen keinen regelmäßigen Charakter auf. Es befanden sich nämlich zwischen den bei positiver und negativer Umfahrung berechneten Werten 43 positive, 34 negative und 8 Nullwerte.

14. Die Ergebnisse der angestellten Versuche können wir also folgendermaßen zusammenfassen:

a) Die beim Gebrauch des Apparates auftretenden regelmäßigen Fehler sind klein und erreichen kaum die Meßfähigkeit des Apparates,


Digitized by Google

b) die Genauigkeit das Apparates erreicht auch bei großen Flächen den Wert, den die Praxis der Lederindustrie beim Flächenmessen fordert.

Zum Schlusse bemerke ich noch, daß der mir zur Verfügung gestellte und geprüfte Apparat in der Budapester Werkstätte der Firma Ferdinand Süss, Präz.-mechanisches und optisches Institut A.-G., mustergültig hergestellt worden ist, und daß die Firma die Ausführung einer auf ähnlichem Prinzip beruhenden, jedoch entsprechend abgeänderten Konstruktion dieser Planimeter, die den Zwecken der geodätischen Praxis dienen soll, in Vorbereitung hat.

Referate.

Die photoelektrischen Zellen und ihre Anwendung in der Photometrie.

Von H. G. Rougier. *Revue d'Opt.* **2**. *S. 133. 1923.*

Die oben verzeichnete Arbeit gibt Veranlassung, über das Gebiet der lichtelektrischen Erscheinungen im engeren Sinne, die wegen ihrer Verknüpfung mit Fragen der Atomstruktur und wegen ihrer weitgehenden Anwendbarkeit für photometrisch-technische Zwecke allgemeines Interesse beanspruchen, unter Heranziehung der Arbeit von Pohl und Pringsheim: „Die lichtelektrischen Erscheinungen" zusammenfassend zu referieren.

Bei den Methoden, nach welchen in der Photometrie die Intensitätsvergleichungen meist vorgenommen werden, hängt die zu erreichende Genauigkeit von der Empfindlichkeit des Auges ab. Aber selbst einem geübten Beobachter gelingt es nicht, Intensitätsunterschiede, die kleiner als $^1/_{100}$ sind, wahrzunehmen. Will man größere Genauigkeit erzielen, so muß das Auge durch einen für kleine Lichtdifferenzen empfindlicheren Empfänger ersetzt werden. Seit einer Reihe von Jahren nun verwendet man zu diesem Zweck sogenannte „Photozellen", die den Vergleich durch das viel leichtere und genauere Messen des von der Zelle gelieferten photoelektrischen Stromes zu ersetzen gestatten. Zum besseren Verständnis soll kurz auf die Grundlagen der lichtelektrischen Erscheinungen eingegangen werden.

Es kann als experimentell gesichert gelten, daß die Atome, aus welchen ein chemisches Element besteht, Elektronen enthalten, d. h. Elementarquanten der elektrischen Ladung. Wir sehen gewisse Atome, nämlich die der radioaktiven Elemente, spontan derartige Elektronen ausschleudern, wir beobachten eine Abspaltung von Elektronen bei chemischen Reaktionen, z. B. in der Flamme, wenn die Atome mit großer Energie aufeinanderstoßen, und nicht minder beweisend für das Vorhandensein der Elektronen sind die Erscheinungen der optischen Emission und Absorption. Die Abspaltung von Elektronen bei der Absorption von Licht wird als „lichtelektrische Erscheinung" oder „Photoeffekt" bezeichnet. Wie der Mechanismus beschaffen ist, der die kinetische Energie des einfallenden Lichtes auf die Elektronen überträgt und deren so gewonnene Energie in Strahlung, Wärme oder chemische Energie umsetzt, ist noch nicht aufgeklärt. Sicher ist nur, daß die Elektronen kinetische Energie erhalten, die sie unter Umständen befähigt, das Atom als freies Elektron oder Kathodenstrahl zu verlassen.

Es war Hallwachs, der, an Versuche von H. Hertz aus dem Jahre 1887 über den Einfluß des Lichtes auf die Funkenentladung anknüpfend, die Abgabe negativer Elektrizität von bestrahlten Metallen entdeckte, deren Charakter als Elektronen von Lenard und J. J. Thomson erkannt wurde. Der lichtelektrische Effekt an festen und flüssigen Oberflächen läßt sich unschwer zeigen. Fällt ultraviolettes Licht z. B. auf eine Zinkplatte, die mit einem Elektrometer verbunden ist, so wird dieses positiv aufgeladen, da negative Ladung von der Platte entfernt wird. Es ist ein leichtes, diese negative Ladung nachzuweisen, wenn man gegenüber der Zinkplatte eine zweite Zinkplatte aufstellt und diese gleichfalls an ein Elektrometer anschließt. Verbindet man nun beide Platten durch einen Strommesser, so erzeugt die Belichtung einen dauernd fließenden Strom, zumal wenn man in den Kreis eine Hilfsspannung einschaltet, welche die Zinkplatte zur Kathode macht und auf diese Weise die ausgelösten Elektronen beschleunigt. Bringt man in den erregenden


Digitized by Google

Strahlengang eine Wasserschicht, die das Ultraviolett absorbiert, so bleibt die Wirkung aus; das sichtbare Licht erzeugt also hier keinen Photoeffekt. Nicht alle Metalle zeigen den Photoeffekt gleich gut. Unter den bekannteren Metallen ist Zink das geeignetste, besser aber gelingen die Versuche noch mit den Amalgamen des Kaliums, Natriums und Rubidiums. Bei diesen braucht man keine so starke Quelle ultravioletten Lichtes, sondern kann die Versuche schon im gewöhnlichen Tageslicht anstellen. Die größten bisher beobachteten Ausbeuten an Elektronen betragen nach Ångström etwa 0,03 C/cal absorbierter Lichtenergie. Als Meßinstrument kommen zuweilen Galvanometer in Frage, für schwache lichtelektrische Ströme muß man zur Selbstaufladung empfindlicher Elektrometer mit kleiner Kapazität greifen, z. B. zu dem von Elster und Geitel konstruierten Fadenelektrometer. Dabei wird häufig der Kunstgriff benutzt, nicht den eigentlichen Elektronenstrom zu messen, sondern die Elektronen durch Absorption in einem Gas in Ionen zu verwandeln und mit Hilfe dieser Ionen im Gas einen Stoßionisationsstrom auszulösen, der den primären Effekt um das Hundertfache übertreffen kann. In diesem Fall müssen allerdings die Elektroden in ein evakuierbares Glaßgefäß eingebaut sein. Von großem Einfluß auf den Photoeffekt ist die Beschaffenheit der oberflächlichen Schicht der zu bestrahlenden Substanz, da als Sitz der Elektronenemission nur eine Oberflächenschicht von äußerst geringer Dicke in Betracht kommt. Die Oberfläche muß deshalb von allen Verunreinigungen und eventuell auch von Oxydschichten peinlichst befreit werden. Am sichersten scheint es, hier nach Möglichkeit im Vakuum zu arbeiten, wenn man die Gesetze, welche die Erscheinungen beherrschen, kennen lernen will. Man nennt ein solches Vakuumgefäß kurz „Photozelle". Häufig genügt die einfache von Elster und Geitel angegebene Form einer kleinen mit zwei Drahtelektroden versehenen Glaskugel von etwa 5 cm Durchmesser, die eventuell ein Flanschrohr mit aufgekittetem Quarzfenster trägt. Sie enthält in der unteren Kalotte das Metall, sei es eine gegossene Schicht, sei es ein durch Destillation erhaltener oberflächlicher Belag, dessen Kontakt mit der Elektrode gewährleistet ist. (Zellen mit Rubidiumamalgam liefert die Gesellschaft Polyphos in München). Die Form der Metallfläche und des Vakuumgefäßes richtet sich ganz nach dem Verwendungszweck. In Fig. 1 ist eine solche Photozelle nebst Versuchsanordnung schematisch skizziert. Die Zelle A enthält Hg als Kathode und im oberen Teil eine als Anode dienende Platte P, um die unter der Wirkung des in Pfeilrichtung eintretenden monochromatischen Lichtes ausgelösten Elektronen aufzufangen. Die Platte P ist verbunden mit dem einen Quadrantenpaar eines Elektrometers, während das andere Paar ebenso wie der positive Pol einer Akkumulatorenbatterie geerdet ist. Der Verlauf der so ermittelten photoelektrischen Stromkurve ist für Hg und die meisten anderen Metalle derart, daß der Strom mit wachsender Wellenlänge kleiner und kleiner wird und bei einer im Ultraviolett gelegenen Wellenlänge λ_0, die für verschiedene Metalle verschieden ist, gleich 0 wird. Vertauscht man die Pole der Batterie, so daß das Quecksilber positiv wird, so wird kein Elektronenstrom entstehen. Durch derartige Versuche hat man die Gesetze ermittelt, welchen der photoelektrische Effekt gehorcht:

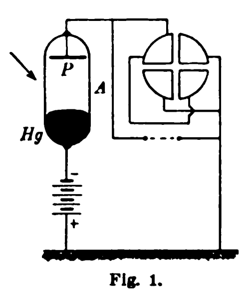


Fig. 1.

1. Die Zahl der emittierten Elektronen ist proportional der eingestrahlten Energiemenge, welches auch die Wellenlänge des einfallenden Lichtes sei.

2. Die Geschwindigkeit der Elektronen wächst mit der Frequenz des erregenden Lichtes.

Ist m die Masse des Elektrons, h das von Planck eingeführte Wirkungsquantum, eine universelle Naturkonstante, so ist das Geschwindigkeitsmaximum, welches ein Elektron unter dem Einfluß eines Lichtes von der Frequenz ν erreichen kann, durch die Planck-Einsteinsche Beziehung gegeben:

$$\frac{m v^2}{2} = h\nu - p = h(\nu - \nu_0),$$

worin $p = h\nu_0$ die Arbeit bedeutet, die zum Austritt eines Elektrons aus dem Metall erforderlich ist.

Für die Photometrie, besonders für die Sternphotometrie, sind nun allein die Alkalimetalle als Kathodenmetalle brauchbar wegen ihrer photoelektrischen Empfindlichkeit gegen sichtbares

Digitized by Google

Licht. Die Wellenlänge λ_0, bei welcher jeder Photoeffekt aufhört, liegt bei den Alkalimetallen im Roten, selbst im Ultraroten.

Außer dem allen Metallen gemeinsamen normalen Effekt zeigen die Alkalimetalle einen sog. selektiven Effekt, der darin besteht, daß in einem gewissen Wellenlängenbereich, der fast ganz im sichtbaren Spektrum gelegen ist, eine beträchtliche Vermehrung des photoelektrischen Stromes eintritt. Für eine bestimmte Wellenlänge λ_m geht die Stromstärke durch ein Maximum. Die Größen λ_m und λ_0 sind charakteristisch für das betreffende Alkalimetall. Es ist ein großes Verdienst von Pohl und Pringsheim, daß sie durch die Aufdeckung des selektiven Effektes und dessen Trennung vom normalen Klarheit in die verwickelten photoelektrischen Erscheinungen gebracht haben.

Bekanntlich besteht die Lichtstrahlung in einem elektrischen Feld, daß sich im Raum mit der Geschwindigkeit von 300000 km/s ausbreitet und dabei senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung schwingt. Ein linear in Richtung der Pfeile 1 schwingendes Elektron e wird polarisiertes Licht aussenden, dessen elektrischer Vektor in der Zeichenebene schwingt und beim Auftreffen auf ein Metall M in dessen Innerem ein Elektron e' in der Richtung des elektrischen Vektors, d. h. des Pfeiles 2, beschleunigt. Dieses Elektron wird die Oberfläche des Metallspiegels nur verlassen können, solange der Winkel α von 0 verschieden ist. Diese Vorstellung war lange Zeit die allgemein herrschende, da Elster und Geitel an Spiegeln von flüssigem K-Na entdeckt hatten, daß der Photoeffekt durch schräg auffallendes polarisiertes Licht bei gleicher Lichtabsorption etwa 50mal so groß ist, wenn der elektrische Vektor wie in Fig. 2 schwingt, als in dem Fall, daß seine

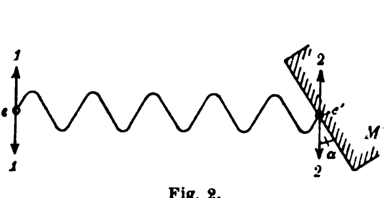


Fig. 2.

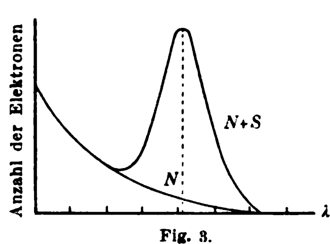


Fig. 3.

Schwingungsebene um die Linie ee' um 90° gedreht wird, so daß der elektrische Vektor keine senkrecht zur Spiegeloberfläche gerichtete Komponente mehr besitzt. Pohl und Pringsheim haben dann aber gezeigt, daß die Zahl der pro Kalorie absorbierter Lichtenergie ausgelösten Elektronen von der Orientierung des elektrischen Lichtvektors unabhängig ist, sobald man im Gegensatz zu Elster und Geitel ultraviolettes Licht statt sichtbares Licht benutzt. Diese Erkenntnis wurde erweitert durch die Vorstellung, daß den Elektronen des Photoeffekts Eigenschwingungen ebenso zugeschrieben werden müssen, wie den Elektronen im Atom, so daß Licht verschiedener Wellenlänge verschieden wirksam sein müsse. Die Zahl der Elektronen erreicht in der Tat für die Frequenz ein Maximum, bei der das erregende Licht und das angeregte Elektron in Resonanz sind, und die Ausbeute an Elektronen fällt nach beiden Seiten des Spektrums ab bei wachsender Differenz zwischen Licht- und Elektronenfrequenz. Aus diesen Beobachtungen schlossen Pohl und Pringsheim, daß bei den lichtelektrischen Erscheinungen sich zwei Phänomene übereinanderlagern, der normale und der selektive Photoeffekt. Im normalen Photoeffekt ist die Zahl der ausgelösten Elektronen von der Orientierung des elektrischen Vektors unabhängig, und die Ausbeute steigt mit wachsender Frequenz nach Art der Kurve N in Fig. 3. Der selektive Photoeffekt dagegen ist auf ein enges Wellenlängenbereich beschränkt und tritt nur auf, wenn der elektrische Vektor des einfallenden Lichts eine senkrecht zur Metalloberfläche gerichtete Komponente besitzt. Die Kurve $N+S$ des selektiven Effekts (Fig. 3) zeigt ein ausgeprägtes Maximum und ist, wie stets, dem gleichzeitig vorhandenen normalen Effekt überlagert. Die von Elster und Geitel am K-Na-Spiegel gefundenen Unterschiede in der Größe des Photoeffekts nach Orientierung des elektrischen Vektors konnten nur in dem Ausnahmefall beobachtet werden, daß das erregende Licht dem Spektralgebiet angehört, in welchem sich der normale und selektive Effekt überlagern. Am einfachsten läßt sich der selektive Effekt an einem Spiegel einer flüssigen K-Na-Legierung


Digitized by Google

nachweisen. Er überlagert sich an dieser der sehr viel geringeren normalen Emission im Wellenlängenintervall von etwa 250 bis 550 $\mu\mu$. Der ganze Verlauf des selektiven Effekts erinnert in seiner Abhängigkeit von der Wellenlänge des erregenden Lichts ausgesprochen an eine Resonanzkurve, und zwar wird das Maximum, verglichen mit dem gleichzeitig vorhandenen normalen Effekt, um so schärfer, je größer der Einfallswinkel des Lichtes gewählt wird, wie Fig. 4 erkennen läßt.

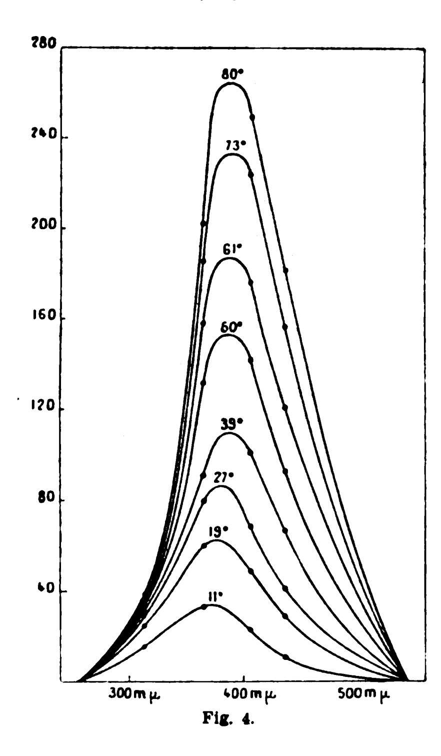


Fig. 4.

Eine Schwierigkeit bei der Aufstellung richtiger Kurven der selektiven Emission liegt in den Absorptionsverlusten des auffallenden Lichtes. Größere Ausbeuten an Elektronen erhält man durch Verwendung so dünner Metallschichten, daß alle angeregten Elektronen auch aus der Oberfläche entweichen können. Eine Annäherung an diesen Grenzfall geben die kolloidalen, lebhaft gefärbten Modifikationen, die man durch Destillation der Metalle oder, noch besser, nach Elster und Geitel durch eine Zersetzung der Hydrüre mittels Kathodenstrahlen erhält. Diese Messungen an den kolloidalen Metallen, die einen großen Teil der Absorptionsverluste vermeiden, geben erst ein richtiges Bild von der wahren spektralen Verteilung der selektiven Emission.

Die Zahl der vom Licht ausgelösten Elektronen ist weiter in hohem Maße von der Oberflächenbeschaffenheit des bestrahlten Materials abhängig. Die geringfügigsten Veränderungen der Schicht haben großen Einfluß auf das lichtelektrische Verhalten. Die hier in Frage stehenden, oft sehr störenden Erscheinungen werden als Ermüdungserscheinungen bezeichnet. Ob hier eine minimale Veränderung durch Oxydation oder eine Gashautbildung oder das Entstehen elektrischer Doppelschichten vorliegt, entzieht sich vorläufig unserer Kenntnis.

Für beide Arten der Emission, die normale und die selektive, gilt das weiter oben aufgestellte und für photometrische Zwecke unerläßliche Fundamentalgesetz von Hallwachs, Elster und Geitel, daß in aller Strenge die Zahl der abgespaltenen Elektronen der Intensität des erregenden Lichtes direkt proportional ist. Elster und Geitel haben die Gültigkeit dieses Gesetzes in dem weiten Helligkeitsintervall von 0,3 der Sonnenhelligkeit und $6 \cdot 10^{-4}$ Meterkerzen geprüft und bestätigt gefunden. Von der Temperatur der bestrahlten Platte ist die Anzahl der emittierten Elektronen in weiten Grenzen unabhängig.

Die lichtelektrische Photometrierung stellt ein Meßprinzip dar, das sehr vielseitiger Anwendung fähig ist, nachdem es den dauernden Bemühungen, namentlich von Elster und Geitel, gelungen war, durch geeignete Vorsichtsmaßregeln die strenge Proportionalität auch für den Fall zu erhalten, daß man statt des primären Photostromes einen durch die Elektronen ausgelösten, um das Hundertfache größeren Stoßionisationsstrom in einem verdünnten Edelgase mißt. Man hat dann in einer Zelle, abgesehen von der Herstellung des geeigneten Gasdrucks, z. B. Argon von 0,5 bis 1,0 mm, lediglich Schutzringe anzubringen, die das allmähliche Überfließen elektrischer Ladungen von den Elektroden auf die Außen- und Innenfläche der Glaskugel verhindern.

Zahlreich sind die Anwendungen, welche die Photozelle zu Lichtmessungen bereits gefunden hat. Erwähnt sei nur ein ausgezeichnetes selbsttätiges Registrierphotometer von P. P. Koch[1]) zur Ausmessung photographischer Platten, sowie ein Sternphotometer, das P. Guthnick konstruiert hat, und mit dem er an einem 30-cm-Refraktor Sterne bis herab zu mindestens sechster Größe zu messen vermag. Lenard und Hausser haben das lichtelektrische Photometer mit Erfolg zu Beobachtungen über das Abklingen phosphoreszierender Substanzen benutzt. *Werner.*

---

[1]) *Diese Zeitschr.* ***41.*** *S. 313. 1921.*


Digitized by Google

Ein neues Protuberanzen-Spektroskop.

Von Oliver J. Lee. *Astrophys. Journ.* **57.** *S. 121. 1923.*

Die Verfasser stellten sich die Aufgabe, ein Protuberanzen-Spektroskop zu konstruieren, welches leicht, ohne großen Zeitaufwand an den Refraktor angebracht werden kann, ohne die übrige Montage des Instrumentes zu stören. Nach Versuchen mit einem Modell aus Pappe ließen sie ein solches Spektroskop in der Werkstätte des Yerkes-Observatoriums, passend für den 40-Zöller der Sternwarte, anfertigen.

In der Bildebene des Fernrohrobjektivs wird unter 45 Grad gegen dessen optische Achse ein Spiegel von 20 × 30 cm Größe eingesetzt, der leicht wieder zu entfernen ist und die Strahlen rechtwinklig zur Fernrohrachse ablenkt. Eine elliptische Metallscheibe befindet sich auf der Mitte dieses Spiegels, sie ist um ein geringes kleiner als das Sonnenbild. Der Spalt des Spektroskops hat eine Krümmung entsprechend der Form des Sonnenrandes und kann um diesen in Intervallen von einem Zoll herumbewegt werden. Zur Erzeugung des Spektrums dient ein Michelsonsches Gitter von 15000 Linien auf 1 Zoll. Es kann in drei Achsen justiert werden in seiner Stellung. Das die Kollimatorlinse enthaltende Rohr kann zum Zwecke der Einstellung dieser Linse durch einen Spiralgang verschoben werden. Das Okular hat eine 15fache Vergrößerung. An einem Teilkreis können die Positionswinkel der Protuberanzen abgelesen werden. Durch entsprechende Gegengewichte ist das Gleichgewicht hergestellt. Wenn dieser Bericht keine ausführlichere Beschreibung des Instrumentes gibt, so liegt das ausschließlich an der Dürftigkeit der Veröffentlichung selbst in dieser Beziehung. Es ist wohl eine nach einer Photographie hergestellte Abbildung der Anbringung des Spektroskops an das Fernrohr beigegeben, aus welcher über die Konstruktion des Apparates aber nichts zu ersehen ist. *H. Krüss.*

Ein rotierender Sektor mit Verstellbarkeit während des Laufs.

Von Herbert E. Ives. *Journ. of the Opt. Soc. of Amer.* **7.** *S. 683—687. 1923.*

Es handelt sich bei der vorliegenden Ausführung um einen vierteiligen rotierenden Sektor zur Lichtabschwächung bei Photometerarbeiten. Es sind zwei Scheiben mit den sektorförmigen Ausschnitten in geringem Abstand fliegend auf der Antriebsachse aufgebracht, beide mit Kegelrädern versehen. Auf der Welle sitzen diesen gegenüber zwei gleiche Kegelräder fest, die durch zwei zwischengeschaltete Kegelräder, deren Achsen parallel zu den Scheibenebenen liegen, diese beiden nach Art eines Planetengetriebes gleichsinnig antreiben. Der Drehsinn der Scheiben ist also entgegengesetzt wie der der Antriebswelle. Die Achse des einen Zwischenkegelrades ist fest, die des andern durch Schneckenantrieb in einer Ebene parallel zur Scheibenebene um einen Punkt in der Hauptdrehachse als Mittelpunkt schwenkbar, und der Drehwinkel ist an einer Kreisbogenskala ablesbar. Man hat so die Möglichkeit, während des Laufes die Öffnungsbreite der Sektoren beliebig zu verstellen und kann unmittelbar deren Breite an einer Skala ablesen. Zwischengeschaltete Federn sorgen dafür, daß die toten Gänge in den Getrieben ohne Einfluß bleiben. *Block.*

Eine neue Form eines registrierenden thermoelektrischen Pyrheliometers.

Von Herbert H. Kimball und Hermann E. Hobbs. *Journ. of the Opt. Soc. of Amer.* **7.** *S. 707—718. 1923.*

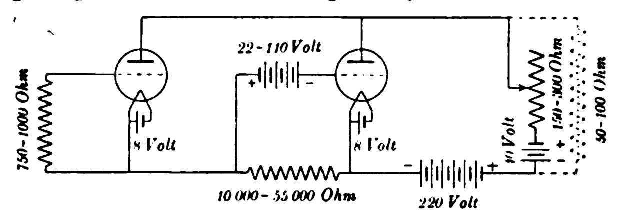
Zwischen zwei konzentrischen Scheiben aus Kupfer, die mit Lampenruß bzw. Zinkoxyd schwarz bzw. weiß gefärbt sind, sind 50 Thermoelementenpaare aus 60% Gold, 40% Palladium und 90% Platin, 10% Platinrhodium in Drahtform von rund 0,04 mm Dicke ausgespannt. Die Ringe haben Oberflächen von rund 3,67 cm^2, ihre Dicken sind rund 0,5 mm. Ein Thermoelement aus jenen Legierungen gibt für 100° C Temperaturdifferenz eine E.M.K. von 3,68 Millivolt. Eine Sonnenstrahlung von 1 Grammkalorie in der Minute auf 1 cm^2 Oberfläche bewirkte bei dieser Anordnung eine E.M.K. von 9—10 Millivolt. Ein angeschlossenes registrierendes Millivoltmeter registriert die Strahlung. Die Aufstellung der Anordnung erfolgt entweder in einer Art wie ein astronomisches Äquatorial mit Uhrwerksbewegung, oder in einer horizontal liegenden Fläche, mit einer halbkugeligen Glashaube von etwa 12 cm Durchmesser zum Schutz. *Block.*


Digitized by Google

An Electron Tube Amplifier for Amplifying Direct Current.

Von H. A. Snow. *Journ. Opt. Soc. of Amer. 6. S. 186. 1922.*

Zwei Verstärkeranordnungen mit Widerstandskopplung werden beschrieben, von denen die günstiger arbeitende in der Figur dargestellt ist, aus der die Wirkungsweise ohne weiteres hervorgeht. Die Röhren sind amerikanische (UV 202 Radiotron) 5 Wattröhren· Ein Gleichstrom von 10 mA im Gitterwiderstand ruft einen Gleichstrom von 11- bis 20 facher Stärke im Belastungswiderstand (punktiert)her vor. Bei Stromrichtungswechsel des unverstärkten Stromes kehrt sich die Richtung des verstärkten Stromes ebenfalls um. Der Apparat, der sich für manche Zwecke als Relais eignet, arbeitet daher auch bei Wechselstrom, die Verstärkung ist jedoch für verschiedene Primärstromstärken nicht konstant und daher nicht völlig verzerrungsfrei.



Zickner.

Bücherbesprechungen.

H. C. Mitchell, *Use of geodetic control for city surveys. Coast and Geodetic Survey,* U. S. A., Spec. Publ. No. 91. 8⁰. 80 S. mit Abb. Washington, Govt Print. Off. 1923.

Veranlassung zur Anzeige der kleinen Schrift über die geodätischen Grundlagen von Stadtvermessungen in der Union an dieser Stelle geben verschiedene darin aufgeführte Neuerungen an Instrumenten des C. and G. S. der Vereinigten Staaten, die der Aufmerksamkeit auch bei uns wert sind.

Bei den Horizontalmessungen, zunächst der Triangulation, wird in den Hauptinstrumenten (Draht-Basismessung, Winkelmessung mit Theodoliten verschiedener Größe) nichts wesentlich Neues geboten, dagegen seien der Beachtung empfohlen die zwei Typen elektrischer Signallampen für die genauesten Winkelmessungen bei Nacht: Das Licht des größeren Modells ist unter günstigen Umständen bis auf gegen 250 km Entfernung in der Helligkeit eines Sterns II. Gr. gesichtet worden, das des kleineren Modells mit unbewaffnetem Auge bis auf 128 km. Für die (u. U. sehr kurzen) Dreieckseiten einer Stadtmessung muß, wenn hier überhaupt bei Nacht gemessen werden soll (z. B. wegen dichter Rauch- oder Nebelschicht bei Tag) das Licht der kleinen Lampe stark gedämpft werden, ferner ist in diesem Fall große Sorgfalt auf die Zentrierung des Lichtsignals zu verwenden. Auch der „vertical collimator" (Ableseinstrument) wird in einem neuen Modell vorgeführt.

Für Fein-Einwägungen bedient sich das Coast and Geodetic Survey bekanntlich seit mehr als 20 Jahren eines Nivelliermodells, das von E. G. Fischer entworfen worden ist (vgl. die Beschreibung im Anhang 3 des C. and G. S. Report for 1903). Dasselbe Instrument wird mehr und mehr auch bei Feinnivellierungen in Städten (z. B. New York und Cincinnati) gebraucht und hat sich überall gut bewährt; die Libelle ist so weit als möglich eingesenkt in das Rohr des Fernrohrs und wird durch ein besonderes, unmittelbar neben diesem liegendes Rohr beobachtet. Das Nivellier hat in jüngster Zeit (seit 1921) nur zwei kleine Abänderungen erfahren, die eine in der Konstruktion (genauer zentrierte Unterstützung des Fernrohrs, so daß beim Gebrauch der Feinschraube zum Einspielen der Libelle sicher auch ganz minimale Verschiebungen des Horizonts der Ziellinie ausgeschlossen sind), die zweite im Material: das ganze Instrument ist jetzt in allen Metallteilen aus Invar hergestellt. Auch die Latte für die Feineinwägungen hat in der Form (vgl. auch den neuen kleinen und genau ebenen Aufsatzfuß Fig. 20) und in der Verwendung eines Invarstreifens als eigentlichen Träger der Skale (Fig. 19) Abänderungen erfahren.

Bemerkenswert sind ferner in dem Abschnitt über Feineinwägungen für Stadtmessungen (Instruktion für gewöhnliche Strecken, S. 53 bis 55) die Vorschriften für das Übersetzen breiter Wasserflächen, das hier nicht selten erforderlich wird; im Feinnivellement der Stadt New York kommen 10 solche Nivellementsübergänge mit Zielweiten zwischen 210 und 1340 m vor.


Digitized by Google

Der topographische Teil der Stadtvermessungen wird nur in einem Anhang behandelt, der u. a. einen Auszug aus den Bestimmungen für die Stadt Cincinnati gibt: Planmaßstab 1 inch = 400 feet, also 1 : 4800 (wenig größer als 1 : 5000); Abstand der Höhenlinien $2^1/_2$, 5 oder 10 feet je nach der Geländeneigung ($< 6^\circ$, zwischen 6° und 12°, $> 12^\circ$), die Höhenlinien dürfen nirgends um mehr als den halben Abstand der Linien falsch situiert sein; die wagrechte Entfernung zweier gut definierten Punkte darf sich auf der Karte nirgends um mehr als $^1/_{80}$ Zoll (im Feldmaß 5 feet) unrichtig zeigen. Fehler, die über die angegebenen Grenzen hinausgehen, sind bei der Prüfung neu aufgenommener Blätter (z. B. durch durchgelegte „Traverse"-Linien) bei bis zu 10 v. H. der geprüften Punkte gestattet, sind jedoch alle vor endgültiger Annahme des Blattes zu verbessern.

Hammer.

Dr.-Ing. Otto Lacman, Die Herstellung gezeichneter Rechentafeln. Ein Lehrbuch der Nomographie. 100 S. mit 68 Abbildungen und drei Tafeln. Berlin, Julius Springer, 1923. 4 Goldmark/0.95 Dollar.

Die außerordentlichen Vorzüge, die der Gebrauch von sogenannten Nomogrammen, d. h. von gezeichneten Rechentafeln, dem Ingenieur, dem Physiker etc. bietet, lassen es merkwürdig erscheinen, daß dieses zeitersparende Hilfsmittel noch nicht dieselbe Verbreitung gefunden hat, wie ihn z. B. der Rechenschieber besitzt. Es mag dies z. T. daran liegen, daß es bisher an einer zusammenfassenden Darstellung der Nomographie fehlt; dem soll das vorliegende Buch abhelfen.

Der Verfasser will ein systematisches Lehrbuch der Lehre von den Nomogrammen geben. Nachdem in Abschnitt I, II und III die Grundbegriffe und für Gleichungen mit zwei Veränderlichen die Darstellung in cartesischen, Polar- oder sonstigen Koordinaten behandelt sind, werden in Abschnitt IV unter A (Rechentafeln mit Linienkreuzung) für Gleichungen mit drei Veränderlichen zunächst die Kurvenscharen in den verschiedenen Koordinatensystemen behandelt; Abschnitt IV B (Fluchtlinientafeln) enthält neben den auf einer projektiven Beziehung beruhenden Tafeln die aus den drei Einzelgraden (oder Kurven) bestehenden Nomogramme. Abschnitt V behandelt die Möglichkeiten der Erweiterung der bisherigen Darstellungen auf vier und mehr Veränderliche.

Die mathematische Darstellung arbeitet bei aller Präzision mit anerkennenswert geringen Hilfsmitteln; die Beispiele sind durchweg der Hydraulik entnommen. Bei dem allgemeinen Zweck, den das Buch verfolgt, wäre vielleicht zu erwägen, ein weniger entlegenes Gebiet als die Hydraulik zur Grundlage der Beispiele zu wählen oder noch einen Schritt weiter zu gehen und den Veränderlichen gar keine Beziehung zu irgendwelchen physikalischen Größen zu geben.

Der Wert des Buches, das unbedingt eine bisher vorhandene Lücke ausfüllt und das sich schnell eine große Schar von Freunden erwerben wird, wird erhöht durch die Anordnung des Inhaltsverzeichnisses, das in einfacher Weise gestattet, sich sofort für eine vorgelegte Funktion über die Möglichkeiten ihrer nomographischen Darstellung zu informieren. *Dziobek.*

Der Austauschbau und seine praktische Durchführung. (Bd. I der Schriften der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure.) Herausgegeben von Dr.-Ing. **Otto Kienzle.** 8°. VIII, 320 S. mit 319 Textabbildungen und 24 Zahlentafeln. Berlin, Julius Springer, 1923. geb. 8.50 Goldmark/geb. 2.05 Dollar.

Das Buch behandelt in 12 Einzelabhandlungen aus der Feder führender deutscher Ingenieure die Grundlagen für die Durchführung des Austauschbaues. Es berührt eng das Arbeitsgebiet unserer Zeitschrift, durch eingehende Darlegungen über Meßwerkzeuge und Meßtechnik und wird auch nach seinem sonstigen ganzen Inhalt für den Betrieb feinmechanischer Werkstätten von größter Bedeutung sein. Es sei vor allem verwiesen auf die Darlegungen über allgemeine Grundlagen des Austauschbaues von O. Kienzle, die Meßwerkzeuge von G. Berndt, die Schneidwerkzeuge von J. Reindl, die Passungssysteme von K. Gottwein, die wirtschaftlichen Grenzen der Arbeitsgenauigkeit im Werkzeugmaschinenbau von E. Huhn, ferner über den Austauschbau in der feinmechanischen Industrie (Apparatebau) von G. Leifer und im Elektromaschinenbau von C. W. Drescher. Auch auf die wichtige Zusmmenfassung der Hauptgesichtspunkte für den Austauschbau von O. Kienzle sei besonders aufmerksam gemacht, ebenso auf das eingehende Literaturverzeichnis. *G.*


Digitized by Google

W. Skirl, Meßgeräte und Schaltungen zum Parallelschalten von Wechselstrommaschinen. 2. umgearbeitete und erweiterte Auflage. 8°. 140 S. mit 30 Tafeln, 30 ganzseitigen Schaltbildern und 14 Textbildern. Berlin, Julius Springer, 1923. geb. 5 Goldmark/geb. 1.20 Dollar.

Die zweite Auflage des Buches hat durch Erweiterungen und eine schärfere Gliederung der verschiedenen Schaltmöglichkeiten eine wesentliche Verbesserung erfahren. Nach einer kurzen klaren Einführung in die Probleme des Parallelschaltens wendet sich der Verfasser im zweiten Abschnitt den verschiedenen Arten der Schaltung zu. Die technischen Hilfsmittel behandelt das dritte Kapitel. Außer den Apparaten der Firma Siemens & Halske werden auch abweichende Konstruktionen anderer Firmen beschrieben, so daß dem Ingenieur in der Praxis, für den das Buch in erster Linie gedacht ist, ein guter Überblick über seine Hilfsmittel ermöglicht wird. Anschließend folgt eine Beschreibung einer Reihe vollständiger Schaltanlagen. Die Schaltbilder werden jeweilig am Schluß der einzelnen Abschnitte beigefügt. Für den Leser bequemer wäre wohl ihre Verteilung im Text, so daß sie an der Stelle ständen, wo sie besprochen werden. Im nächsten Kapitel bringt der Verfasser die automatischen Schaltvorrichtungen, die das Kraftwerk von Fehlern des Bedienungspersonals unabhängig machen. Den Schluß bilden zwei Abschnitte über Schaltungskontrolle und elektrische Befehlsübertragung zwischen Schaltbühne und Maschinenraum. Das Buch ist wegen seiner klaren und umfassenden Darstellung des Gebietes für den Ingenieur ein wertvolles Hilfsmittel. *Sr.*

W. Skirl, Meßgeräte und Schaltungen für Wechselstrom-Leistungsmessungen. 2., umgearbeitete u. vermehrte Aufl. 8°. X, 248 Seiten mit 41 Tafeln, 31 ganzseitigen Schaltbildern und zahlreichen Textbildern. Berlin, Julius Springer, 1923. geb. 8 Goldmark/geb. 1.95 Dollar.

Die vorliegende zweite Auflage zeigt eine wesentliche Erweiterung und Umarbeitung gegen die erste Auflage.

Bei den allgemeinen Betrachtungen über die mit Zeigerinstrumenten erreichbare Meßgenauigkeit sind die vom Verbande Deutscher Elektrotechniker aufgestellten Regeln hinzugekommen. Eine Reihe inzwischen neuentstandener Meßgeräte sind beschrieben. Ferner wurde der Abschnitt über die Meßfehler der Stromwandler umgearbeitet und durch eine neue Entwicklung der bei Drehstrom auftretenden Fehler erweitert. Der zweite Teil des Buches über „Meßschaltungen" ist durch einen einleitenden Abschnitt über Scheinleistung, Wirkleistung und Blindleistung sowie durch einen weiteren Abschnitt über Leistungsmessung bei sehr großen Phasenverschiebungen ergänzt worden.

Schon bei der Besprechung der ersten Auflage des Buches (*diese Zeitschr. 41. S. 280. 1921*) ist die Beschränkung auf Instrumente der Firma Siemens & Halske als ein Mangel empfunden worden. Verf. rechtfertigt diese Einseitigkeit mit der größeren Einheitlichkeit des Buches und der Möglichkeit, vergleichbare Zahlen für die verschiedenen Instrumente geben zu können. Der durch die größere Einheitlichkeit erzielte Gewinn wiegt diese Einseitigkeit jedoch kaum auf. *Alberti.*

Nachtrag zu dem Referat S. 27, Kreisrechenschieber von Trentmann.

Herr Trentmann teilt mir soeben mit, daß die Form seines Instruments, auf die sich meine Notiz bezieht, nicht die neueste ist; die Ausführung ist vielmehr durch die in dem dritten Patent (Nr. 389905) angegebenen Einrichtungen verbessert. Das Instrumentchen läßt sich jetzt vom Benützer leicht auseinandernehmen und wieder zusammensetzen, so daß der Staub von der vorderen Cellonscheibe entfernt werden kann. Auf der Rückseite ist ferner außer der Kubusteilung und der gleichförmigen Mantissenteilung der Zahlenlogarithmen (diese jetzt freilich auf einem Kreis von nur 27 mm statt 35 bei der vorigen Ausführung aufgetragen) auch die log sin-Teilung und log tang-Teilung angebracht, aber auf Kreise von 33 und 39 mm Durchmesser beschränkt. Die Genauigkeit der Rechnung mit den drei zuletzt genannten Skalen ist also ziemlich gering, trotzdem sind auch diese Beigaben natürlich willkommen.

Stuttgart, im Februar 1924. *Hammer.*

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.


Digitized by Google

JUL 21 1924
PERIODICAL ROOM
GENERAL LIBRARY
UNIV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ für Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben
unter Mitwirkung der
Physikalisch-Technischen Reichsanstalt
von

L. Ambronn in Göttingen, W. Breithaupt in Cassel, M. Edelmann in München, P. Guthnick in Neubabelsberg, O. Günther in Braunschweig, W. Haensch in Berlin, E. v. Hammer in Stuttgart, K. Haußmann in Berlin, C. Hensoldt in Wetzlar, W. Hildebrand in Freiberg i. S., E. Kohlschütter in Potsdam, H. Krüss in Hamburg, H. Ludendorff in Potsdam, O. Lummer in Breslau, H. Maurer in Berlin, W. Nernst in Berlin, C. Pulfrich in Jena, M. v. Rohr in Jena, W. Sartorius in Göttingen, A. Schmidt in Cöln a. Rh., R. Steinheil in München, R. Straubel in Jena, E. Warburg in Berlin, F. Weidert in Berlin, A. Westphal in Berlin, E. Wiechert in Göttingen.

Schriftleitung: F. Göpel in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang.

1924.

6. Heft: Juni.

Inhalt:

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1924.

Digitized by Google

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande nur durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Die Berechnung erfolgt heftweise.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei 1/4 — 1/2 — 1/1 Seite Umfang 30.— 60.— 120.— Goldmark

Bei 6 — 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist 10 — 20 % Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,30 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseingangs. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungsdatum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) nur auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.



Präzisionsinstrumente

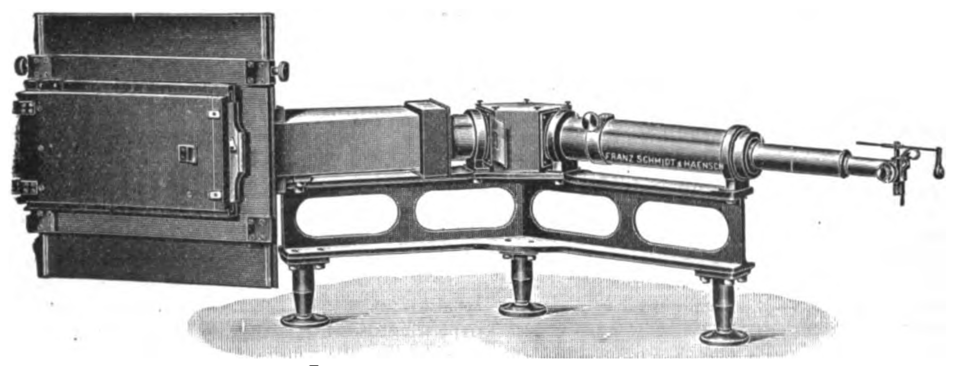
(registrierend und nichtregistrierend)

für

Luftdruck / Temperatur / Feuchtigkeit Windmessung / Sonnenschein / Niederschlag / Wasserstandsbeobachtungen

Franz Schmidt & Haensch

Prinzessinnenstr. 16 **BERLIN S 42** Prinzessinnenstr. 16



Großer Quarzspektrograph

Polarisations-Spektral-Apparate sowie
Photometer für wissenschaftlichen und technischen Gebrauch.
Projektionsapparate, Spezial-Kugelepiskope und Epidiaskope.
Anomaloskope nach Nagel, Thornersche Augenspiegel.

Preislisten kostenfrei.

[6230]

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium.

Prof. Dr. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIV. Jahrgang. **Juni 1924.** Sechstes Heft.

Berechnung von Prismenobjektiven nebst Beispielen ihrer Anwendungen.

Von

Prof. **H. Crans** in Stuttgart.

Einleitung.

Veranlassung zu diesem Aufsatz gab folgende Bemerkung:

In steigendem Maße werden neuerdings in Fernrohre totalreflektierende Prismen eingebaut, einerseits um durch den Zickzackweg des Lichts im Prisma die Rohrlänge abzukürzen, andererseits um durch die Verschiebung der Objektivachse gegen die des Okulars die plastische Wirkung bei Doppelfernrohren zu vergrößern, hauptsächlich aber um unter Verwendung vollständig bildumkehrender Prismen das unvollkommene terrestrische Okular durch das astronomische ersetzen zu können. Sollen solche Prismen zwischen dem Objektiv und dem Okular angebracht werden, so müssen ihre Endflächen senkrecht zur optischen Achse stehen, wenn nicht störende astigmatische Bildverzerrungen auftreten sollen. Mit dieser Einrichtung ist jedoch ein Nachteil verbunden, der besonders bei stärkeren Vergrößerungen Schwierigkeiten verursacht. Das Prisma wirkt wie eine dicke planparallele Platte und verschiebt infolgedessen den Brennpunkt des Objektivs um eine gewisse Strecke okularwärts, ohne daß dadurch die Brennweite des Objektivs verändert würde. Diese Verschiebung des Brennpunkts ist aber vom Brechungsindex des Prismenglases abhängig und beträgt $\frac{l(n-1)}{n}$ mm wenn der Lichtweg im Prisma l mm ist. Daher ist die Verschiebung für jede Farbe von einer anderen Größe; Objektiv und Prisma zusammen sind nur noch subjektiv achromatisch. Diese chromatische Differenz der Brennpunkte wird durch das subjektiv achromatische Okular nach dem Typus von Huyghens oder Ramsden nur bei kleiner Vergrößerung zum Teil aufgehoben, durch ein objektiv achromatisches Okular überhaupt nicht. Im Jahrgang 1908 dieser Zeitschrift hat Harting gezeigt, wie diese chromatische Überkorrigierung des Objektivs durch das Prisma nicht nur durch eine entsprechende Unterkorrektion der sphärischen und chromatischen Abweichung des Objektivs aufgehoben werden kann, sondern wie zugleich auch eine gute Aplanasie in der hinteren Brennebene durch passende Wahl der Linsendicken und der Glassorten sich auf methodische Weise erreichen läßt. Es kommt noch ein weiterer Übelstand hinzu: durch die totale Spiegelung an den Prismenflächen entsteht zwar kein nennenswerter Lichtverlust, und auch die Absorption des Lichts in den modernen Glassorten ist verhältnismäßig unbedeutend; dagegen entstehen, wie die theoretische Physik nachweist, an jeder brechenden Fläche, also auch an den Endflächen des

Digitized by Google

Prismas bedeutende, auf mindestens 10% zu veranschlagende Lichtverluste, die sich auf keine Weise vermeiden lassen. Zwei aufeinander passende Kugelflächen wirken dabei nur als eine einzige Fläche wenn die Gläser durch einen Kitt vereinigt sind, dessen Brechungsindex mit demjenigen einer der beiden Glassorten übereinstimmt. Es liegt nun der Gedanke nahe, das Objektiv mit dem Prisma durch Verkittung zu vereinigen, nachdem dessen ebene Endflächen durch passende Kugelflächen ersetzt sind. Dabei können die beiden Objektivlinsen durch das Prisma getrennt werden und man erhält, falls von dem Zickzackweg des Lichts im Prisma abgesehen wird, ein aus zwei dünnen Linsen und einer sehr dicken mittleren Linse bestehendes, zweifach verkittetes Gesamtsystem. Dabei soll zunächst vorausgesetzt werden, daß die beiden angekitteten Linsen aus der gleichen Glassorte bestehen, und es wird untersucht, welche Krümmungen die vier in Betracht kommenden Kugelflächen haben müssen, damit sowohl die Brennweite F als der Abstand des Brennpunkts vom hinteren Prismenscheitel B für verschiedene Farben konstant bleibt.

§ 1. Formeln für die Schnittweiten beim Durchgang des Lichts durch vier Kugelflächen von endlichem Abstand und zwei verschiedenen Glassorten.

Zunächst sollen die Dicken der beiden Linsen als ∞ klein angesehen werden. Ihr Brechungsindex für eine bestimmte Farbe sei n', der des Prismenmaterials n; die Länge des Lichtwegs im Prisma sei l mm. Für die rechnerische Durchführung kann zunächst der Zickzackweg des Lichts im Prisma durch eine gerade Strecke von der Länge l, also das Prisma durch einen Zylinder von der Länge l ersetzt gedacht werden. Die Lichtbewegung gehe von links nach rechts, der vordere Prismenscheitel (Mitte der Vorderlinse) sei M_1, der zweite Scheitel des Prismas (Mitte der Hinterlinse) sei M_2. Die Krümmungsradien der vier aufeinander folgenden Kugelflächen seien r_1, r_2, r_3, r_4 und ihre Reziproken ϱ_1, ϱ_2, ϱ_3, ϱ_4. Diese Größen positiv gerechnet, wenn die Krümmungsmittelpunkte O_1, O_2 rechts von M_1; O_3, O_4 rechts von M_2 liegen. Die Refraktionen der einzelnen Flächen, aus Luft in das Medium n', aus diesem in das Medium n, aus diesem in das Medium n', aus diesem in Luft, sind $(n'-1)\varrho_1$, $(n-n')\varrho_2$, $(n'-n)\varrho_3$, $(1-n')\varrho_4$ und sollen zur Abkürzung im folgenden mit p_1, p_2, p_3, p_4 bezeichnet werden.

Ein vom Punkt A_0 des Gegenstandes kommender Lichtstrahl schneide die vier Flächen der Reihe nach in A_1, A_2, A_3, A_4. $A_0 A_1$ trifft die Achse in E unter $\sphericalangle \varphi$, $A_1 A_2$ in E_1 unter $\sphericalangle \varphi_1$, $A_2 A_3$ in E_2 unter $\sphericalangle \varphi_2$, $A_3 A_4$ in E_3 unter $\sphericalangle \varphi_3$, der aus A_4 austretende Strahl trifft die Achse in E_4 unter $\sphericalangle \varphi_4$. Es werde gesetzt $M_1 E = a$, $M_1 E_1 = a_1$, $M_1 E_2 = a_2$, $M_2 E_2 = b_2$, $M_2 E_3 = b_3$, $M_2 E_4 = b_4$. Diese Größen sind von links nach rechts positiv gerechnet und die spitzen $\sphericalangle \varphi$ positiv wenn sie nach links oben offen sind. Die Zentriwinkel $M_1 O_1 A_1$, $M_1 O_2 A_2$, $M_2 O_3 A_3$ $M_2 O_4 A_4$ werden der Reihe nach mit ω_1, ω_2, ω_3, ω_4 bezeichnet, sämtlich positiv, wenn sie nach links oben offen sind. Der hintere Brennpunkt des Systems sei F_2, also $M_2 F_2 = B$, der vordere Brennpunkt sei F_1 und $M_1 F_1$ (positiv von links nach rechts) sei A, die beiden Hauptpunkte H und K haben von den Scheiteln M_1 und M_2 die Abstände $M_1 H = h$, (positiv von links nach rechts) und $M_2 K = k$ (positiv von rechts nach links).

Die bekannten Brechungsformeln für Kugelflächen ergeben nun folgende Gleichungen:

Digitized by Google

$$\left.\begin{array}{ll} -\frac{1}{a}+\frac{n'}{a_1}=p_1; & -\frac{n}{b_2}+\frac{n'}{b_3}=p_3; \\ -\frac{n'}{a_1}+\frac{n}{a_2}=p_2; & -\frac{n'}{b_3}+\frac{1}{b_4}=p_4; \end{array}\right\} \text{wo } b_2=(a_2-l) \text{ zu setzen ist.}$$

Eliminiert man aus diesen Gleichungen die Größen a_1, a_2, b_3 und setzt dabei $a=\infty$, so wird $b_4=B$ und man erhält:

$$1-\frac{l}{n}(p_1+p_2)=\frac{B}{F}, \tag{1a}$$

wo

$$\frac{1}{F}=p_1+p_2+p_3+p_4-\frac{l}{n}(p_1+p_2)(p_3+p_4) \tag{2a}$$

ist.

Da in diesen Gleichungen B und F von n und n' unabhängig sein sollen, so differenziere man beide Gleichungen nach n und n' und ersetze dann die Differenziale dn und dn' durch die Differenzen Δn und $\Delta n'$, wo $\Delta n=n_F-n_C$ und $\Delta n'=n'_F-n'_C$ ist. Dabei ersetze man (p_1+p_2) durch $(n'-1)(\varrho_1-\varrho_2)+(n-1)\varrho_2$ und (p_3+p_4) durch $(n'-1)(\varrho_3-\varrho_4)-(n-1)\varrho_3$. Dann erhält man aus 1a):

$$(n'-1)(\varrho_1-\varrho_2)+(n-1)\varrho_2=n\left(\frac{F-B}{l}\right)\quad \Delta n'(\varrho_1-\varrho_2)+\Delta n\,\varrho_2=\Delta n\left(\frac{F-B}{l}\right). \tag{1}$$

Aus beiden Gleichungen erhält man nach kurzer Rechnung:

$$\varrho_1=\frac{F-B}{F\cdot l}\cdot\frac{n n'}{(n-1)(n'-1)\left[\frac{\Delta n'}{n'-1}-\frac{\Delta n}{n-1}\right]}\left[\frac{\Delta n'}{n'}-\frac{\Delta n}{n}\right]$$

$$\varrho_2=\frac{F-B}{F\cdot l}\cdot\frac{n n'}{(n-1)(n'-1)\left[\frac{\Delta n'}{n'-1}-\frac{\Delta n}{n-1}\right]}\left[\frac{\Delta n'}{n'}-\frac{\Delta n}{n}+\frac{\Delta n}{n n'}\right].$$

Ersetzt man in 2a) p_1+p_2 durch $n\frac{F-B}{l}$ und $1-\frac{l}{n}(p_1+p_2)$ in 1a) durch $\frac{B}{F}$, so wird nach Multiplikation mit $\frac{F}{B}$:

$$(n'-1)(\varrho_3-\varrho_4)-(n-1)\varrho_3=\frac{1}{B}-n\frac{F-B}{l},$$

hieraus durch Differenzierung:

$$\Delta n'(\varrho_3-\varrho_4)-\Delta n\,\varrho_3=-\Delta n\frac{F-B}{l}. \tag{2}$$

Aus diesen Gleichungen erhält man:

$$\varrho_3=\frac{1}{B}\frac{n n'}{(n-1)(n'-1)\left[\frac{\Delta n'}{n'-1}-\frac{\Delta n}{n-1}\right]}\left[\frac{F-B}{l}\cdot\left(\frac{\Delta n'}{n'}-\frac{\Delta n}{n}+\frac{\Delta n}{n n'}\right)-\frac{\Delta n'}{n n'}\right]$$

$$\varrho_4=\frac{1}{B}\frac{n n'}{(n-1)(n'-1)\left[\frac{\Delta n'}{n'-1}-\frac{\Delta n}{n-1}\right]}\left[\frac{F-B}{l}\left(\frac{\Delta n'}{n'}-\frac{\Delta n}{n}\right)-\frac{\Delta n'}{n n'}+\frac{\Delta n}{n n'}\right].$$

Digitized by Google

Die hier in Betracht kommenden, nur von den Brechungsquotienten abhängigen Größen:

$$\left.\begin{aligned}
\xi &= \frac{n\,n'\left(\dfrac{\Delta n'}{n'} - \dfrac{\Delta n}{n}\right)}{(n-1)(n'-1)\left[\dfrac{\Delta n'}{n'-1} - \dfrac{\Delta n}{n-1}\right]}, \\
\zeta &= \frac{n\,n'\left(\dfrac{\Delta n}{n\,n'}\right)}{(n-1)(n'-1)\left[\dfrac{\Delta n'}{n'-1} - \dfrac{\Delta n}{n-1}\right]}, \\
\eta &= \frac{n\,n'\left(\dfrac{\Delta n'}{n\,n'}\right)}{(n-1)(n'-1)\left[\dfrac{\Delta n'}{n'-1} - \dfrac{\Delta n}{n-1}\right]}
\end{aligned}\right\} \quad 3)$$

mögen für denjenigen Fall berechnet sein, daß n' und $\Delta n'$ sich auf Flintglas, n und Δn auf Crownglas bezieht. Dann behält ξ seinen Wert bei, wenn das Prisma aus Flintglas und die Linsen aus Crownglas bestehen, also n mit n', Δn mit $\Delta n'$ vertauscht wird. Dagegen verwandelt sich η in $-\zeta$ und ζ in $-\eta$ bei dieser Vertauschung. Die Berechnung von ξ, η, ζ ist leicht, denn

$$\eta = \frac{1}{(n-1)-(n'-1)\dfrac{\Delta n}{\Delta n'}}, \qquad \zeta = \frac{\dfrac{\Delta n}{\Delta n'}}{(n-1)-(n'-1)\dfrac{\Delta n}{\Delta n'}},$$

ferner erhält man leicht durch Ausrechnung die Beziehung $\xi - \eta + \zeta = 1$. Man berechne also:

$$\left.\begin{aligned}
\gamma &= \frac{\Delta n}{\Delta n'} \\
\eta &= \frac{1}{(n-1)-\gamma(n'-1)} \\
\zeta &= \gamma\cdot\eta \\
\xi &= \eta + 1 - \zeta
\end{aligned}\right\} \quad 4)$$

Mittels dieser Bezeichnungen erhält man nun:

I. Für Prisma aus Crownglas und Linsen aus Flintglas:

$$\left.\begin{aligned}
\varrho_1 &= \frac{F-B}{F\cdot l}\cdot\xi \\
\varrho_2 &= \frac{F-B}{F\cdot l}(\eta+1) \\
\varrho_3 &= \frac{1}{B}\left[\frac{F-B}{l}(\eta+1)-\eta\right] \\
\varrho_4 &= \frac{1}{B}\left[\frac{F-B}{l}\,\xi-(\xi-1)\right]
\end{aligned}\right\} \quad 5\,a)$$

Digitized by Google

II. Für Prisma aus Flintglas und Linsen aus Crownglas:

$$\left.\begin{aligned}
\varrho_1 &= \frac{F-B}{F\cdot l}\cdot\xi \\
\varrho_2 &= \frac{F-B}{F\cdot l}(\zeta-1) \\
\varrho_3 &= -\frac{1}{B}\left[+\frac{F-B}{l}(\zeta-1)-\zeta\right] \\
\varrho_4 &= \frac{1}{B}\left[\frac{F-B}{l}\xi-(\xi-1)\right]
\end{aligned}\right\} \qquad 5\text{b})$$

Um auch die Lage des vorderen Brennpunkts zu bestimmen, ersetze man $\frac{a}{A}$ und b_4 durch ∞, dann erhält man ebenso wie oben: $-\frac{A}{F}=1-\frac{l}{n}(p_3+p_4)$. Gibt man A das umgekehrte Vorzeichen, d. h. rechnet man $M_1 F_1$ positiv von rechts nach links, so wird:

$$\frac{A\cdot B}{F^2}=\left[1-\frac{l}{n}(p_1+p_2)\right]\left[1-\frac{l}{n}(p_3+p_4)\right]$$

$$=1-\frac{l}{n}\left[p_1+p_2+p_3+p_4-\frac{l}{n}(p_1+p_2)(p_3+p_4)\right]=1-\frac{l}{nF},$$

also

$$A\times B=F\left(F-\frac{l}{n}\right); \qquad A=\frac{F}{B}\left(F-\frac{l}{n}\right).$$

Nun wird $h=F-A=\frac{F}{B}\left(B+\frac{l}{n}-F\right)$,

ferner

$$k=F-B.$$

§ 2. Strahlengang im Prismenobjektiv.

Das durch die Eintrittsfläche eines Prismas dringende Licht bildet von einer spiegelnden Fläche zur andern jeweils einen schief abgeschnittenen Teil eines Kreiszylinders von der Länge l. Die Achsen der einzelnen Stücke bilden an jeder Fläche gleiche Winkel mit dieser. Denkt man sich alle diese schief abgeschnittenen Stücke aneinandergesetzt, nachdem man sie abwechselnd um 180^0 verdreht hat, so entsteht ein Zylinder von der Länge l. Jedem im Prisma im Zickzack verlaufenden Strahl entspricht in diesem Zylinder eine gerade Strecke zwischen den Grundflächen. Die Gesamtheit der Strahlen hinter dem Prisma unterscheidet sich von derjenigen hinter dem Zylinder nur dadurch, daß bei einem vollständig bildumkehrenden Prisma gegenüber dem zylindrischen Strahlengang sowohl oben und unten als vorn und hinten vertauscht ist, während bei einem Prisma mit ungerader Spiegelflächenzahl nur oben und unten oder vorne und hinten vertauscht sind. Um sich ein Bild vom Strahlengang zu machen, denken wir uns das Prisma mit seinen beiden angekitteten Linsen so gezeichnet, daß der Maßstab quer gegen die optische Achse bedeutend vergrößert ist gegenüber dem parallel zur optischen Achse. Dann erscheinen in der Zeichnung die beiden Linsen als achsensenkrechte Strecken.

Die Randstrahlen und der Mittelstrahl eines unter $\measuredangle\,\varphi$ gegen die optische Achse einfallenden Parallelstrahlenbüschels (Fig. 1) treffen die vordere Hauptebene in c_1', C, c_1, welchen auf der zweiten Hauptebene die Punkte g_1', G, g_1 entsprechen. Der Bild-

Digitized by Google

punkt E des Strahlenbüschels liegt auf der hinteren Brennebene da, wo sie von der Parallelen KE zum Eintrittsstrahl getroffen wird. Zieht man $g_1' p_1' E$, dann GPE (diese Linie ist in der Fig. nicht gezeichnet), $g_1 p_1 E$, welche die Hinterlinse in p_1', P, p_1 treffen, so sind $p_1' E$, PE, $p_1 E$ die Wege der Strahlen hinter dem System, $m_1' p_1'$, $M_1 P$, $m_1 p_1$ die Wege im System.

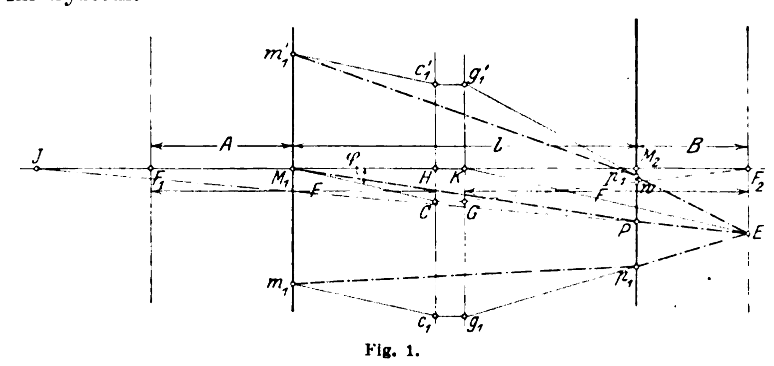


Fig. 1.

Es ist, wenn man GF_2 zieht, welche die Hinterlinse in w trifft, $M_2 w = \frac{B}{F} \cdot KG$ und $wP = -\frac{F-B}{F} \cdot F_2 E$, daher $M_2 P = \frac{B}{F} h \cdot \operatorname{tg} \varphi + \frac{F-B}{F} F \operatorname{tg} \varphi$, aber $h = \frac{F}{B}\left(B + \frac{l}{n} - F\right)$, folglich: $M_2 P = \frac{l}{n} \operatorname{tg} \varphi$. Man kann daher die Konstruktion der vorderen Hauptebene sich ersparen, wenn man auf der hinteren Linse $M_2 P = \frac{l}{n} \operatorname{tg} \varphi$ abträgt. Durch diesen Punkt P geht derjenige Strahl des schiefen Parallelbüschels, der durch die Mitte der Vorderlinse gegangen ist. Die beiden Randstrahlen treffen die Hinterlinse in den Punkten p_1' und p_1, und es ist $Pp_1 = \frac{B}{F} K g_1 = \frac{B}{F} \cdot R$, wo R die halbe Öffnung der Vorderlinse bedeutet. Ist daher $B < F$, so wird von der Hinterlinse nicht die ganze Öffnung gebraucht. Ist dagegen $B > F$, so kommt nicht alles auf die Vorderlinse fallende Licht durch die Hinterlinse hindurch und die Hinterlinse ist maßgebend für die hindurchgehende Lichtmenge.

Im ersten der beiden Fälle wird, falls man beiden Linsen den Durchmesser $2R$ gibt, bei wechselndem φ der Grenzfall eintreten, wo der durch den Rand der Vorderlinse eintretende Strahl auch die Hinterlinse am Rand verläßt. Der entgegengesetzte Strahl des Büschels bildet dann mit der Prismenachse einen Winkel, dessen tg gleich $\frac{2R}{l}\left(1 - \frac{B}{F}\right)$ ist. Nun ist aber $\frac{2R}{l}$ das halbe innere geometrische Gesichtsfeld und da dieser Strahl an den Prismenflächen total reflektiert werden soll, so muß sein Neigungswinkel gegen die Achse $\gtreqless$ als das halbe innere physikalische Gesichtsfeld sein. Bezeichnet man jenes mit γ, dieses mit ε, so muß also $\left(1 - \frac{B}{F}\right) \leqq \frac{\varepsilon}{\gamma}$ sein. Ist dies der Fall, so wird auch bei dieser äußersten Neigung φ_0 der Lichtbündelachse gegen die optische Achse noch alles vorhandene Licht zur Abbildung verwendet und es ist dann auch $\operatorname{tg} \varphi_0 = n \frac{1}{2} \gamma \left(1 - \frac{B}{F}\right)$. Im zweiten Falle $B > F$ muß, damit im genannten äußersten Falle der kreisförmige Ausschnitt der Vorderlinse, durch welchen hindurch die Hinterlinse voll erleuchtet wird, an den Rand der Vorderlinse rückt:

$$\left(1 - \frac{F}{B}\right) \leqq \frac{\varepsilon}{\gamma} \quad \text{sein, und dann wird} \quad \operatorname{tg} \varphi_0 = n \frac{1}{2} \gamma \left(1 - \frac{F}{B}\right).$$

Digitized by Google

Der Punkt J, in welchem EP die Achse trifft, liegt links von F_2 im Abstand

$$\frac{F \operatorname{tg} \varphi}{\dfrac{F - \frac{l}{n} \operatorname{tg} \varphi}{B}} = \frac{F \cdot B}{F - \frac{l}{n}}.$$

Liegt hinter dem System ein Okular von der Brennweite f, so muß dessen vordere Hauptebene um f rechts von F_2 liegen und der Ort des Auges muß konjugiert zu J in bezug auf das Okular sein. Also ist der Ort des Auges hinter der hinteren Hauptebene des Okulars gelegen um:

$$x = f\left[1 + \frac{f\left(F - \frac{l}{n}\right)}{BF}\right]$$

und die Breite des aufs Auge fallenden Strahlenbüschels verhält sich zu $p_1 p_1'$ wie $f:B$, d. h. die Breite beträgt $2 R \frac{f}{F}$.

§ 3. Grenzen des Gesichtsfeldes im Prismenobjektiv.

Denkt man sich wie vorhin das Prisma zu einem Zylinder auseinandergezogen, so stellt das Rechteck $ABCD$ (Fig. 2) den axialen Querschnitt dar. Das Verhältnis der Seiten in diesem Rechteck ist durch die Wahl des Prismentyps vollständig bestimmt, falls die spiegelnden Flächen einander und den Endflächen möglichst nahegerückt sind (bei den Porroprismen ist z. B. $AB : BC = 1 : 4$). Jede zwischen AB und CD liegende Strecke stellt eine im Prisma mögliche Lichtrichtung dar,

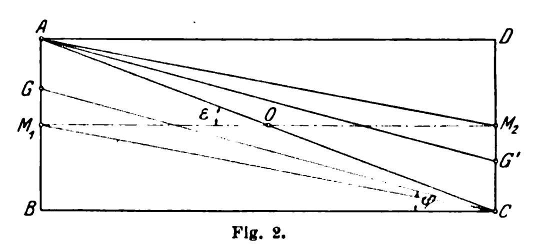


Fig. 2.

allerdings nur unter der Voraussetzung, daß sie von allen Flächen total reflektiert wird. Dagegen kann kein Strahl austreten, der im Innern mit der Achse einen größeren ∢ bildet als die Diagonale, daher ist ∢ ε das halbe totale innere geometrische Gesichtsfeld des Prismas: $\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{2R}{l}$. Von einem Strahlenbüschel, das die Richtung GC hat, trägt noch der zwischen AG' und GC liegende Teil zur Abbildung bei, dessen Breite senkrecht zur Achse gemessen gleich $l \cdot \operatorname{tg} \varphi$ ist. Ist nun, vgl. den Schluß von § 2, das Okular so konstruiert, daß die Größe des Bildes für die Objektivfassung am Ort des Auges gleich oder größer als der Pupillendurchmesser ist, so wird das Strahlenbüschel von der Richtung GC ein im Verhältnis $AB : AG$ weniger helles Bild liefern. Beispielsweise wird das zwischen AM_2 und $M_1 C$ liegende Büschel die halbe Helligkeit haben, wenn $\frac{2R \cdot f}{F}$ = dem Pupillendurchmesser ist. Dem ∢ ε entspricht vor und hinter dem System das halbe äußere geometrische Gesichtsfeld von etwa $1^1/_2$ facher Größe ($\sin \varepsilon' = n \cdot \sin \varepsilon$).

Das geometrische Gesichtsfeld kann durch kein Mittel vergrößert werden, solange der Prismentyp derselbe bleibt. Rücken die spiegelnden Flächen oder die Endflächen parallel ihrer vorigen Lage weiter auseinander, so wird das geometrische Gesichtsfeld verkleinert und das Volumen im Verhältnis zur Leistung vergrößert.

Da aber die Prismenflächen durch totale Reflexion spiegeln, so kann kein Strahl

Digitized by Google

zur Verwendung kommen, der mit einer der spiegelnden Flächen einen unter dem Grenzwinkel der totalen Reflexion liegenden Einfallswinkel bildet. Zieht man vom größten der Winkel, welchen die Normalen der verschiedenen spiegelnden Flächen gegen die Achse bilden, den Grenzwinkel der totalen Reflexion für die Glassorte des Prismas ab, so erhält man die Grenze, welche von der Neigung eines noch gespiegelten Strahls gegen die Achse nicht überschritten werden darf, oder das halbe innere physikalische Gesichtsfeld. Bei einem Porroprisma aus Flintglas z. B., wo die Flächen 45^0 mit der Achse bilden und der Grenzwinkel für totale Reflexion $\sim 38^1/_2{}^0$ ist, beträgt das halbe innere physikalische Gesichtsfeld $45^0 - 38^1/_2{}^0 = 6^1/_2{}^0$. Das physikalische Gesichtsfeld kann nur durch Wahl eines anderen Prismentyps vergrößert werden, dessen Flächen geringere Neigung gegen die Achse haben, oder durch Wahl einer noch stärker brechenden Glassorte für das Prisma.

§ 4. Zahlenangaben für zwei gebräuchliche Glassorten.

Dem Werke: „Geometrische Optik" von A. Gleichen entnehme ich die Werte für die mittleren Brechungsexponenten und die mittleren Dispersionen der zwei Glassorten: Kalksilikat-Crown 0_{60} und gewöhnliches Silikat-Flint 0_{103}:

Tabelle 1.

	Crown	Flint	
$n = n_D$	1,51790	1,62020	Hieraus $\gamma = \frac{\delta n}{\delta n'} = 0{,}50321$
$\delta_n = n_F - n_C$	0,00860	0,01709	$\eta = \frac{1}{(n-1) - \gamma(n'-1)} = 4{,}85884$
$\frac{1}{n}$	0,65880	0,61720	$\zeta = \gamma \cdot \eta = 2{,}44502$
$n - 1$	0,51790	0,62020	$\xi = \eta + 1 - \zeta = 3{,}41382$
$\frac{n-1}{n}$	0,34119	0,38279	$\xi - 1 = 2{,}41382$ $\eta + 1 = 5{,}85884$
$\frac{2-n}{\xi(n-1)}$	0,27260	0,17938	$\zeta - 1 = 1{,}44502$ $\frac{\xi - 1}{\zeta} = 0{,}70707$
$\frac{1}{n(n-1)}$	1,27206	0,99516	$\frac{1}{\xi} = 0{,}29293$
$\frac{2-n}{n(n-1)}$	0,61326	0,37796	$\frac{1}{\eta+1} = 0{,}17068$
$\frac{1}{n-1}$	1,93087	1,61238	$\frac{1}{\zeta - 1} = -0{,}69183$

§ 5. Einzelfälle.

I. Ist $F - B = l$, so werden die Formeln für ϱ:

$$\varrho_1 = \frac{\xi}{f}; \qquad \varrho_2 = \frac{\eta + 1}{f}$$

für Crownglasprisma, und

$$\varrho_2 = -\frac{\xi - 1}{f}$$

für Flintglasprisma;

$$\varrho_3 = \varrho_4 = \frac{1}{B}.$$

Es fällt also die Hinterlinse weg und diese wird ersetzt durch einen um den Mittelpunkt F_2 mit Krümmungsradius B beschriebenen Schliff am Prisma.

Digitized by Google

r_1 wird für die Glassorten des vorhergehenden Paragraphen $= l \cdot 0{,}29293$

r_2 für Crownglasprisma $= l \cdot 0{,}17068$,

r_2 für Flintglasprisma $= l \cdot 0{,}69203$;

der hintere Hauptpunkt fällt in den vorderen Prismenscheitel. Im Falle eines Crownglasprismas wird die Krümmung der zweiten Fläche sehr stark, die vorn angekittete Flintglaslinse ist ein Zerstreuungsmeniskus mit Wölbung nach außen; im Falle eines Flintglasprismas wird die angekittete Crownglaslinse eine bikonvexe Sammellinse mit schwächerer zweiter Krümmung.

Soll dieser Typ für einen Prismenfeldstecher verwendet werden, so kann als Okular etwa ein solches vom Typ des Huyghensschen verwendet werden. Das Huyghenssche Okular hat folgende Eigenschaften: Seine beiden plankonvexen, nach dem Objektiv zu gewölbten Linsen aus gleichem Glase (Kollektiv und Augenglas), haben einen Abstand gleich der halben Summe ihrer Brennweiten. Die vordere Hau pt ebene des Okulars fällt mit der hinteren Brennebene des Kollektivs, die hintere Hauptebene des Okulars mit der vorderen Brennebene des Augenglases zusammen und die Brennweite des Okulars ist die vierte Proportionale aus dem Abstand und den Brennweiten beider Linsen. Bedeuten q_1, q_2 die Brennweiten von Kollektiv und Augenglas, d ihren Abstand, f die Okularbrennweite, so ist:

$$2d = q_1 + q_2 \quad \text{und} \quad f = \frac{q_1 q_2}{d}.$$

Sind also q_1 und f gegeben, so ist

$$d = \frac{q_1}{2 - \frac{f}{q_1}}, \qquad q_2 = \frac{f}{2 - \frac{f}{q_1}}.$$

In unserem Falle ist der Krümmungshalbmesser des Kollektivs $= B$, daher $q_1 = \frac{B}{n-1}$ und da der Abstand zwischen Kollektiv und vorderem Brennpunkt des Okulars gleich B werden muß, so ist $\frac{B}{f} = \frac{B}{n-1}$, d. h. $f = \frac{B(2-n)}{(n-1)}$, daraus folgt dann

$$d = B\frac{1}{n(n-1)}, \qquad q_2 = B\frac{2-n}{n(n-1)}.$$

Ferner ist in unserem Falle $F = n \cdot f = B\frac{m(2-n)}{(n-1)}$ und $F - B = l$, daher

$$B\frac{m(2-n)-(n-1)}{(n-1)} = l \quad \text{oder} \quad B = l\frac{(n-1)}{N},$$

wo $N = m - (m+1)(n-1)$ ist; folglich:

$$F = B\frac{m(2-n)-(n-1)}{(n-1)} = \frac{l \cdot m(2-n)}{N};$$

$$q_1 = \frac{l}{N}; \qquad f = \frac{l(2-n)}{N}; \qquad d = \frac{l}{n \cdot N};$$

$$q_2 = \frac{l(2-n)}{n \cdot N}.$$

Nun kann man zur Ersparnis von brechenden Flächen die Einrichtung treffen, daß man das Kollektiv gerade in der Höhlung des zweiten Prismenschliffs unterbringt.

Digitized by Google

wenn dann Prisma und Okular aus derselben Glassorte bestehen und der Krümmungsradius des Kollektivs genau gleich B ist, so braucht das Kollektiv nicht besonders geschliffen und eingekittet zu werden, sondern es wird nur gedacht, und die ebene Endfläche des Prismas bei M_2 bildet die hintere Kollektivfläche. Zu diesem Zweck muß $\frac{B}{n-1} = q_1$ sein. Da der vordere Brennpunkt des Okulars um die Strecke B hinter M liegt, so ist $q_1 - f = B$, aber f ist durch die Vergrößerung des Instruments gegeben:

$$f = \frac{F}{m}.$$

II. Ist $\boldsymbol{B} = 0$, so sind die Krümmungsradien r_3 und r_4 nicht zu bestimmen.

$$\varrho_1 = \frac{\xi}{l},$$

$$\varrho_2 \text{ für Crownglasprisma } \frac{\eta + 1}{F},$$

$$\text{für Flintglasprisma } -\frac{\xi - 1}{l}.$$

Die hintere Hauptebene des Systems fällt nach M_1, die hintere Brennebene fällt mit der ebenen Austrittsfläche des Prismas zusammen. Auf ihr würden also, wenn sie matt geschliffen wäre, die Bilder ferner Gegenstände scharf gezeichnet sein. Man kann mit diesem System ein Ramsden-Okular verbinden. Bei diesem haben die beiden Linsen nahe dieselbe Brennweite q und ihr Abstand ist gleich q. Beide sind plankonvex mit der Wölbung nach innen. Der vordere Brennpunkt des Okulars fällt auf die Fläche der Vorderlinse. Der Abstand beider Linsen ist zugleich Brennweite des Okulars. Wählt man daher die Okularlinsen aus demselben Glase wie das Prisma, so kann man (bei Meßinstrumenten nach Eingravierung des Fadenkreuzes in die polierte Endfläche des Prismas) die Vorderlinse des Okulars auf die ebene Prismenfläche kitten. Die Hinterlinse muß gegen die Vorderlinse etwas verschiebbar sein, um der Verschiedenheit der Augen Rechnung zu tragen.

Durch die unter I angegebene Verbindung des Kollektivs mit dem Prisma und durch die Verkittung der Vorderlinse des Ramsden-Okulars mit dem Prisma unter II wird die Zahl der brechenden Flächen auf fünf beschränkt. Die hierdurch gewonnene Ersparnis an Lichtverlusten dürfte ein wesentlicher Vorzug sein.

III. Ist $\boldsymbol{F} - \boldsymbol{B} = 0$, so wird $\varrho_1 = \varrho_2 = 0$: ϱ_3 bei Crownglasprisma $= -\frac{\eta}{B}$; bei Flintglasprisma $= + \frac{\xi}{B}$; $\varrho_4 = -\frac{\xi - 1}{B}$. Das Prisma hat also eine ebene Eintrittsfläche und keine Vorderlinse. Die Hinterlinse ist bei Crownglasprisma ein Zerstreuungsmeniskus mit Wölbung nach rechts. Bei Flintglasprisma ist die Hinterlinse eine bikonvexe Sammellinse mit nahezu gleichen Wölbungen. Da der hintere Hauptpunkt mit der Hinterlinse zusammenfällt, so wird an Rohrlänge nichts gespart, sondern das Rohr um die Länge des Prismas gegen vorn vermehrt. Diese Form wäre am besten bei Instrumenten zu gebrauchen, die fest, höchstens um ihre optische Achse drehbar angebracht sind, etwa in Verbindung mit rechtwinklig abbiegenden Prismen zum Ersatz gebrochener Fernrohre. Immerhin ist die Zahl der brechenden Flächen größer als beim einfachen ungebrochenen astronomischen Fernrohre.

IV. Die unter I. angegebene Verbindung der Kollektivlinse des Huyghens-Okulars mit der Endfläche des Prismas kann auch in dem allgemeinen Falle ange-

Digitized by Google

wendet werden, wo ein Prisma mit Vorder- und Hinterlinse versehen ist, falls bei dieser ϱ_4 positiv ist, also die Höhlung der vierten Fläche durch das Kollektiv ausgefüllt werden kann. Das Material der Okularlinsen ist dasjenige der Hinterlinse. Die Brennweite des Kollektivs also $\frac{r_4}{n'-1}$ muß gleich der Summe aus Okularbrennweite und Abstand des Objektivbrennpunktes von der vierten Linse, d. h. $= \frac{F}{m} + B$ sein. Diese Gleichung läßt sich schreiben:

$$\frac{(n'-1)\left[F - \frac{B}{l}\xi - (\xi - 1)\right]}{B} = \frac{1}{\frac{F}{m}} + B.$$

Setzt man hier $F = \alpha \cdot l$; $B = x \cdot l$, so erhält man die Gleichung:

$$x^2 + x\left[\frac{1}{\xi(n'-1)} - \alpha\frac{(m-1)}{m} + \frac{\xi-1}{\xi}\right] - \frac{\alpha}{m}\left[\alpha - \frac{\xi-1}{\xi}\right] = 0$$

oder

$$x^2 + x\left[\frac{(2-n')}{\xi(n'-1)} + 1 - \frac{m-1}{m}\alpha\right] - \frac{\alpha}{m}\left[\alpha - \frac{\xi-1}{\xi}\right] = 0.$$

Aus dieser Gleichung läßt sich für beliebige Werte von m nach beliebiger Annahme des Verhältnisses $\frac{F}{l} = \alpha$ der Wert des Verhältnisses $\frac{B}{l} = x$ berechnen und hieraus wie bei I. die Brennweiten der Okularlinsen.

Es wird

$$q_1 = \frac{r_4}{(n'-1)} = l\,\frac{\frac{x}{\xi(n'-1)}}{\left[(\alpha - x) - \frac{\xi-1}{\xi}\right]};$$

$$f = l \cdot \frac{\alpha}{m}; \qquad d = \frac{q_1}{2 - \frac{f}{q_1}}; \qquad q_2 = \frac{f}{2 - \frac{f}{q_1}}.$$

Ferner ist der Abstand des Kollektivs vom vorderen Augenglasbrennpunkt, wo das wirkliche Bild zustande kommt und das Fadenkreuz angebracht wird, gleich $(d - q_1)$.

§ 6. Beispiele für Prismenobjektive ohne Hinterlinse.

1. Beispiel. Wird nach den Angaben von § 5, I. das Fernrohr eines Doppelfeldstechers konstruiert, so kann man der Billigkeit halber für das Prisma Crownglas wählen, auch die Okularlinsen bestehen dann aus diesem Material. Als Prisma kann das in D. R. P. 327024[1]) angeführte, in den Abb. 1—3 angeführte Porroidprisma mit erweitertem Achsenabstand gewählt werden, das sich aus einem einzigen Stück Glas herstellen läßt und bei welchem die Neigung der Flächennormalen gegen die optische Achse 48° beträgt. Daher ist das halbe innere physikalische Gesichtsfeld $> 6°$. Aus der Abb. ergibt sich die Länge des Lichtkegels gleich dem 3,88 fachen der Öffnung,

[1]) Anm. Dieses D. R. P. ist wie die übrigen in diesem Aufsatz genannten inzwischen erloschen. Vgl. auch meinen Aufsatz über Reflexionsprismen, *diese Zeitschr., Jahrg. 1923.*

Digitized by Google

wäre also die letztere 30 mm (Helligkeit 25 bei sechsfacher Vergrößerung), so müßte b mindestens 116,4 mm sein. Mit Rücksicht auf die starke Wölbung der II. Fläche schieben wir den 1. Scheitel etwas nach vorn, um durch den Kugelschliff für r_2 nichts vom spiegelnden Teil der ersten totalreflektierenden Fläche wegzunehmen. Eine erste überschlägige Rechnung nach den Formeln von § 5, I. gibt dann für $F \sim 145$, $B = 25$ mm; hieraus $r_1 = 42,5$ mm, $r_2 = 24,9$ mm. Die Zahlen $l = 120$, $a_1 = 42,5$, $r_2 = 24,9$ sollen als genau gegebene Größen angesehen werden. Daraus ergeben sich die genaueren Werte von

$$\frac{n'-1}{r_1}, \quad \frac{n'-1}{r_2}, \quad \frac{n-1}{r_2},$$

$$\frac{1}{n}\left(\frac{n'-1}{r_1} - \frac{n'-1}{r_2} + \frac{n-1}{r_2}\right) = \frac{1}{l} - \frac{1}{F},$$

woraus der genaue Wert von $F = 144,7342$ und $B = r_3 = 24,7342$ folgt.

Es wurde nun eine vorläufige trigonometrische Rechnung (s. die Formeln von § 11 und Abb. IV) angestellt und zunächst ein achsenparalleler Strahl verfolgt, zu dessen Schnittpunkt mit der ersten Fläche der Zentriwinkel $\omega_1 = 16^0$ gehört. Für diesen Strahl ergab sich $a_1 = 109,3954$, $a_2 = 144,5358$, daher $b_2 = 24,5358$, $b_3 = 24,7312$. $\varphi_1 = 6^0\, 12'\, 18''$, $\varphi_2 = 8^0\, 41'\, 26''$, $\varphi_3 = 4^0\, 41'\, 33''$, daher Δa_3, d. h. die Aberration im Brennpunkt $= 0,003$ mm. Setzt man in der letzten Berechnung statt n' und n bzw. die Werte $n + \frac{1}{2}\delta n'$ und $n + \frac{1}{2}\delta n$ ein, so ergibt die gleiche Berechnung für Δa_3 den Wert 0,0029 mm. Legt man durch den gleichen Punkt A_1 einen schiefen Strahl, der die Achse unter dem $\sphericalangle\, \varphi = 6^0$ schneidet, so ist für ihn $a = 113,1032$, $a_1 = 69,7565$, $a_2 = 79,6228$, also $b_2 = -40,3772$, $b_3 = -14,0027$; $\varphi_1 = 9^0\, 56'\, 51''$, $\varphi_2 = 8^0\, 35'\, 38''$, $\varphi_3 = 22^0\, 05'\, 29''$ und h, d. h. die Ordinate seines Schnittpunktes mit der Brennebene $= -15,7234$. Legt man durch M_1 zu diesem Strahl einen Parallelstrahl, so ist für ihn $a = a_1 = a_2 = 0$, $b_2 = -120$ mm, $b_3 = -24,5025$, $\varphi_2 = 3^0\, 56'\, 55''$, $\varphi_3 = 17^0\, 53'\, 41''$, $h = -15,6757$, daher $\Delta h = 0,047$ mm.

Für $\varphi = 3^1/_2{}^0$ statt 6^0 findet man beim gleichen Wert von ω_1: $a = 193,1782$, $a_1 = 81,7216$, $a_2 = 97,2640$, $b_2 = -22,7360$; $b_3 = -10,9033$; $\varphi_1 = 8^0\, 19'\, 23''$, $\varphi_2 = 6^0\, 57'\, 37''$, $\varphi_3 = 14^0\, 11'\, 53''$, $h = 9,0164$ und für den Parallelstrahl durch M_1: $a_3 = 91,8782$, $b_3 = -28,1218$, $\varphi_2 = 2^0\, 18'\, 18''$, $\varphi_3 = 9^0\, 37'\, 25''$, $h = -8,9621$, also $\Delta h = 0,054$ mm.

Es findet also eine sehr gute Aufhebung der Farbenzerstreuung auch für die Randstrahlen und eine genügend scharfe Abbildung in der Brennebene auch für großes Gesichtsfeld statt.

Wird behufs Vereinigung des Prismenobjekts mit dem Kollektiv des Okulars die III. Fläche durch eine achsensenkrechte Ebene ersetzt, so wird für die zwei Strahlen $\varphi = 3^1/_2{}^0$, von denen der eine durch A_1, der andere durch M_1 geht, $\varphi_4 = 10^0\, 30'\, 38''$, $\varphi_4' = 3^0\, 30'\, 30''$; daher wird die vordere Brennebene der Augenlinse, die im Abstand $\frac{B}{n}$ von M_2 liegt, in den Entfernungen $h_4 = -5,8212$ und $h_4' = -5,8268$ getroffen, also $\Delta h_4 = 0,0056$. Die vorstehende Berechnung kann auch auf vollständige Genauigkeit deshalb keinen Anspruch machen, weil auf die Linsendicke keine Rücksicht genommen wurde.

Digitized by Google

Hilfstabelle.

1. Prisma und Okular aus Crownglas. $l = 1$.

m	$\frac{1}{N}$	F	B	q_1	q_2	f	d	r_1	r_2
6fach	0,42111	1,21813	0,21013	0,42111	0,01399	0,20302	0,27785	0,35683	0,20791
8fach	0,29949	1,12832	0,14945	0,29949	0,09380	0,14104	0,19457	0,33052	0,19258

2. Prisma und Okular aus Flintglas. $l = 1$.

m	$\frac{1}{N}$	F	B	q_1	q_2	f	d	r_1	r_2
6fach	0,60292	1,37394	0,37393	0,60292	0,14133	0,22899	0,37212	0,40247	−0,95059
8fach	0,29255	0,88888	0,18144	0,29255	0,06858	0,11111	0,18056	0,26038	−0,61495

Aus dieser Tabelle kann für 6- und 8fache Vergrößerung, nachdem einmal der Prismentyp gewählt ist, für die beiden gewählten Glassorten jede der in Betracht kommenden Größen abgelesen werden.

2. Beispiel. Prismenfeldstecher mit Flintglasprisma, Vorder- und Hinterlinse aus Crownglas und Augenglas aus Crownglas nach § 5, IV.

Man wähle wieder das Porroidprisma D. R. P. 337024, Abb. 1—3, diesmal aus Flintglas für eine Öffnung von 36 mm, wofür $l = 36 \cdot 3{,}88 = 140$ mm wird. Eine Verängerung ist hier nicht nötig, da der erste Prismenschliff hohl ist. Die quadratische Gleichung für B ist hier nach den Zahlen der ersten Tabelle:

$$x^2 + x\left[1{,}27260 - \frac{7}{8}\alpha\right] - \frac{\alpha}{8}[\alpha - 0{,}70707] = 0$$

für 8fache Vergrößerung. Man wähle $\alpha = 1{,}36$, so wird die Gleichung:

$$x^2 + x \cdot 0{,}08260 - 0{,}082098 = 0\,.$$

Diese gibt:

$$x = 0{,}2486\,.$$

Daraus ergibt sich

$$r_4 = l \frac{\frac{x}{\xi}}{(\alpha - x) - \frac{\xi - 1}{\xi}}$$

oder nach den Zahlen der ersten Tabelle:

$$B = x \cdot l, \qquad F = \alpha \cdot l, \qquad f = \alpha \cdot \frac{l}{8}, \qquad q_1 = f + B,$$

$$r_4 = q_1 \cdot (n - 1), \qquad d = \frac{q_1}{2 - \frac{f}{q_1}}; \qquad q_2 = \frac{f}{2 - \frac{f}{q_1}},$$

$$f = 0{,}17\,l; \qquad q_1 = 0{,}17\,l + x \cdot l = 0{,}4186\,l;$$

$$\frac{f}{q_1} = \frac{0{,}17}{0{,}4186} = 0{,}4061; \qquad d = 0{,}21364\,l;$$

$$q_2 = \frac{0{,}17}{1{,}9593} = 0{,}08676;$$

$$r_1 = \frac{\frac{\alpha}{\xi}}{(\alpha = x)}\,l = \frac{1{,}36 \cdot 0{,}29293}{1{,}1114} = 0{,}22245\,l;$$

Digitized by Google

$$r_2 = -\frac{\frac{\alpha}{(\xi - 1)}}{(\alpha - x)} l = -\frac{1,36 \cdot 0,69183}{1,1114} = -0,71057\, l;$$

$$r_3 = \frac{x}{-(\alpha - x)(\xi - 1) + \xi} = \frac{0,2486}{(1,1114) \cdot 1,44502 + 2,44502} = 0,2963\, l.$$

Für die praktische Ausführung besteht eine Schwierigkeit darin, daß besondere Vorrichtungen vorhanden sein müssen, welche die Prismenachse während des Schliffs der beiden Flächen mit den Radien r_2 und r_3 stets senkrecht zur Fläche der Schleifschale führen. Derartige Vorrichtungen sind aber auch sonst in der Präzisionsschleiferei nötig.

3. Beispiel. Kleines Meßinstrument mit festem Fokus für schwache Vergrößerung (Bussoleninstrument) nach § 5, II.

Porroprisma aus Flintglas für Öffnung 20 mm, $l = 80$ mm, $r_1 = 23,2$ mm, $r_2 = -55,34$ mm. Bei dreifacher Vergrößerung haben die Linsen des auf die ebene Endfläche aufgekitteten Ramsden-Okulars je eine Brennweite von 20 mm, ebenso groß ist ihr normaler Abstand. Das Augenglas wird wegen der Verschiedenheit der Augen etwas verschiebbar gemacht. Ehe das Okular aufgekittet wird, ist genau zu prüfen, ob der Brennpunkt des Objektivs in die hintere ebene Austrittsfläche fällt und in diese letztere ein Fadenkreuz einzugravieren. Die Linsen des aufgekitteten Okulars müssen aus derselben Flintglassorte bestehen wie das Prisma und der Kitt den Brechungsquotienten des Flintglases besitzen.

4. Beispiel. Gleichfalls nach dem Typ $F = l$ läßt sich ein bequemes Zielfernrohr für Jagdflinten bauen. Solche Fernrohre müssen stabil und kurz sein, sollen bei verhältnismäßig schwacher Vergrößerung ein großes Gesichtsfeld, genügende Helligkeit und ein festsitzendes Fadenkreuz haben, der Ort des Auges muß ziemlich weit hinter der Augenlinse liegen, damit das Auge beim Rückstoß nicht beschädigt wird. Verstellung der Augenlinse ist nicht nötig, da der kurzsichtige Schütze ja doch die Brille benützt. Da eine Parallelverschiebung der optischen Achse zwischen Objektiv und Okular hier nicht angängig ist, so wählen wir als Prisma das in D. R. P. 327024 unter Abb. 4, 5, 6 dargestellte geradsichtige Umkehrprisma, bei welchem der Öffnungsdurchmesser zur Weglänge des Lichtes im Glas sich wie 1 : 5,93 verhält und der Abstand der Endflächen das 4,29 fache des Öffnungsdurchmessers ist. Wählt man also $l = 140$ mm, was etwa dem Öffnungsdurchmesser 22 mm entspricht, so ist die Länge parallel der optischen Achse etwa 95 mm. Weil die II. und III. Fläche gegen die optische Achse um 45° geneigt sind, und daher das physikalische Gesichtsfeld bei Crownglas zu klein würde, so wählen wir zum Prisma Flintglas, zur Linse Crownglas. Die Radien r_1 und r_2 werden daher $\frac{140 \cdot 1}{\xi} = +41,01$ und $\frac{140 \cdot 1}{(\xi - 1)} = -96,76$. Die Endfläche ist zugleich Brennebene. Vor der Politur dieser Fläche wird noch genau geprüft, ob dies wirklich der Fall ist und dann nach erneutem Nachschleifen das Fadenkreuz eingeritzt. Als Okular dient ein Linsensystem vom gleichen Typ, bei welchem aber das totalreflektierende Umkehrprisma durch einen einfachen Kreiskegelstumpf aus Flintglas ersetzt ist. Seine Höhe wird bei 4 facher Vergrößerung $= 35$ mm gewählt, in die kleinere Endfläche eine Höhlung vom Radius $\frac{35}{1,44531} = 24,15$ eingeschliffen und da hinein eine Bikonvexlinse von den Radien $\frac{35}{1,44531} = 24,15$ und $\frac{35}{3,41363} = -10,25$


Digitized by Google

aus Crownglas eingekittet. Die ebene größere Endfläche ist die Brennebene des zweiten Systems, sie wird auf die Ebene des Objektivsystems aufgekittet. Wählt man den Durchmesser der zweiten Crownglaslinse etwa 13 mm, so wird sie von der Mitte der Vorderlinse aus unter etwa 10^0 gesehen. Dies ist das innere Gesichtsfeld. Ihm entspricht ein äußeres von 15^0 bis 16^0. Der Ort des Auges liegt ungefähr 48 mm hinter der Augenlinse. Die Helligkeit ist etwa 25. Da das ganze Fernrohr nach Verkittung ein einziges Stück Glas bildet, so ist genügender Schutz gegen Verschiebung einzelner Teile vorhanden, weil das ganze Stück in eine einzige Hülse gefaßt werden kann.

§ 7. Beispiele für den Fall $F > B + l$.

5. Beispiel. Gebrochenes astronomisches Fernrohr für große Brennweite mit kurzem Tubus (Passageinstrument mit Durchsicht durch die Ost-Westachse).

Als Prisma verwenden wir, weil man bei astronomischen Fernrohren nicht an aufrechte Bilder gewöhnt, eines der nicht umkehrenden rechtwinklig abbiegenden Prismen D. R. P. 323501, Abb. 5—8, hier ist $\frac{R}{l} = \frac{14}{109} = 0{,}1282$. Für ein Prisma ist der Grenzwinkel der totalen Reflexion $38^0\,6'\,10''$, der Neigungswinkel der Flächen gegen die Achse 45^0, daher das halbe innere physikalische Gesichtsfeld $\operatorname{tg} 6^0\,53'\,50'' = 0{,}1296$. Also müßte zur völligen Ausnutzung beider Linsen

$$\left(1 - \frac{B}{F}\right) = \frac{0{,}1296}{2 \cdot 0{,}1282} \leqq 0{,}505, \quad \text{also} \quad \frac{B}{F} > 0{,}495$$

sein. Aber hier braucht man ein bedeutend kleineres Gesichtsfeld, so daß die Hinterlinse überhaupt nicht voll ausgenützt wird. Wir nehmen an $B = 2\,l$, $F = 6\,l$, größtes Gesichtsfeld $= 2^0$, also $\varphi_0 = 1^0$. Dann wird nach der Zahlentabelle von § 4: $R_1 = 0{,}4394\,l$; $R_2 = -1{,}0377\,l$; $R_3 = -0{,}5997\,l$; $R_4 = 0{,}1779\,l$. Ist $l = 40$ cm, so wird $F = 240$ cm, $b = 80$ cm, so daß die Länge des Rohres nur 97 cm beträgt; der Durchmesser der Vorderlinse wird dann $\frac{2 \cdot 14}{109} \cdot 40 = 10{,}3$ cm, $\frac{l}{n} \operatorname{tg} \varphi_0 = 0{,}43$ cm, hierzu $\frac{R \cdot B}{l} = 1{,}72$ cm, also $\frac{1}{2}$ Durchmesser der Hinterlinse $= 2{,}15$ cm. Die letztere beansprucht also nicht die ganze Öffnung des Prismas: $F_2 E$ wird $240 \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 = 4{,}19$ cm. Für eine 24fache Vergrößerung muß ein Okular (nach dem Typ Ramsden) von 10 cm Brennweite mit einem Durchmesser der Vorderlinse von 8,4 cm; für 48fache Vergrößerung bei 1^0 Gesichtsfeld ein Okular von 5 cm Brennweite mit Vorderlinsendurchmesser von 4 cm; für 96fache Vergrößerung bei $40'$ Gesichtsfeld ein Okular von $2^1/_2$ cm Brennweite mit dem Vorderlinsendurchmesser von 2,8 cm gewählt werden.

In diesen Fällen käme alles durch die Eintrittsfläche dringende Licht, abgesehen von den Absorptions- und Reflexionsverlusten hinter dem Okular, zur Wirkung. Die Helligkeit ist also ein Maximum.

6. Beispiel. Eine ähnliche Einrichtung ließe sich für ein geradsichtiges astronomisches Fernrohr, etwa einen Kometensucher, treffen, nur würde hier das totalreflektierende Prisma unnötig sein und deshalb durch einen massiven Kegelstumpf aus Flintglas von der Höhe l ersetzt. Solche Objektive mögen zum Unterschied von den gewöhnlichen Objektiven als Kegelobjektive bezeichnet werden.

7. Beispiel. Auch ein photographisches Teleobjektiv ließe sich nach diesem Prinzip des Kegelstumpfes von der Länge l aus Flintglas mit angekitteten Crownglaslinsen herstellen. Es sei z. B. $F = 160$ cm, $B = 45$ cm, $l = 16$ cm, $F_2 E$ im Max. 11 cm

Digitized by Google

(Plattengröße 13×18), Durchmesser der Vorderlinse etwa 6 cm; $\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{11}{160}$, daher $\frac{l}{n} \operatorname{tg} \varphi_0 = 0{,}6789$, $\frac{R \cdot B}{F} = 0{,}5$ cm, daher Durchmesser der Hinterlinse $= 2{,}63$ cm.

$$R_1 = \frac{16 \cdot 32}{23 \cdot 3{,}41362} = 6{,}521 \text{ cm};$$

$$R_2 = \frac{16 \cdot 32}{23 \cdot 1{,}44531} = -15{,}409 \text{ cm};$$

$$R_3 = -\frac{16 \cdot 45}{115 \cdot 1{,}44531 - 2{,}44520 \cdot 16} = -7{,}366 \text{ cm};$$

$$R_4 = \frac{16 \cdot 45}{115 \cdot 3{,}41363 - 16 \cdot 2{,}41370} = 2{,}086 \text{ cm}.$$

Man wähle den Durchmesser der Vorderlinse 7 cm ($\sim =$ dem kleineren Krümmungsradius). Dann ist $\frac{R \cdot B}{F} = \frac{3{,}5 \cdot 45}{160} = 0{,}98$ cm, hierzu $\frac{l}{n} \operatorname{tg} \varphi = 0{,}6789$ ergibt für die Hinterlinse einen halben Durchmesser von 1,66, also einen Durchmesser von 3,30 cm. Dies wäre zu groß für den Krümmungsradius R_4, daher wähle man den Durchmesser der Vorderlinse 5 cm, dann wird $\frac{R \cdot B}{F} = \frac{2{,}5 \cdot 45}{160} = 0{,}70$, hierzu $\frac{l}{n} \operatorname{tg} \varphi_0 = 0{,}68$ gibt für die Hinterlinse einen halben Durchmesser von 1,38 cm oder einen Durchmesser von 2,76 cm, was noch möglich ist. Für die praktische Ausführung ist selbstverständlich durch trigonometrische Rechnung, Aplanasie und Bildebnung zu prüfen, auch sind die Dicken von Vorder- und Hinterlinse zu berücksichtigen und erforderlichenfalls zu ändern, um etwaige Fehler zu verbessern. (Vergleiche § 10 und § 11.)

§ 8. Beispiel für $F < B$.

Während in den Beispielen des vorhergehenden Paragraphen die Länge des Rohrs gegenüber dem Fernrohr abgekürzt wurde, dadurch, daß $B < F$ war, kann auch die Aufgabe vorkommen, den Tubus eines optischen Instruments ohne große Beeinträchtigung des Gesichtsfeldes beträchtlich zu verlängern. Dies ist z. B. bei den Periskopen der Fall (s. Fig. 3). Ein solches trägt am Kopf eines um seine vertikale Achse drehbaren Rohrs ein Spiegelprima S welches von fernen Gegenständen in der Nähe des Horizonts Parallelstrahlenbüschel, unter dem $\sphericalangle \varphi$ gegen die Horizontale geneigt, in ein teleskopisches System I oder in zwei hintereinander geschaltete solche Systeme I und II sendet. Aus diesen kommt das Büschel unter gleichen oder größeren Neigungswinkel n gegen die optische Achse wieder als Parallelstrahlenbüschel unten heraus und fällt dann bei objektiver Beobachtung, durch ein Prismenobjektiv konvergent gemacht, auf eine Mattscheibe. Für subjektive Beobachtung liegt unter dem Rohr ein gebrochenes Fernrohr XY, in dessen Okular das Bild des fernen Gegenstandes vergrößert gesehen wird. Damit das Bild bei Drehung des Kopfspiegels um die Vertikale sich nicht um die horizontale opt. Achse Y dreht, muß irgendwo in das optische System ein sogenanntes geradsichtiges Aufrichteprisma eingebaut werden, das sich mit dem Kopfspiegel dreht, jedoch nur halb so schnell wie dieser. Soll das Aufrichteprisma zwischen zwei Linsen des Systems eingebaut werden, so müssen seine Endflächen zur Vermeidung astigmatischer Verzerrungen senkrecht zur optischen Achse stehen, während z. B. beim Goerzschen Rundblickfernrohr das gewöhn-

Digitized by Google

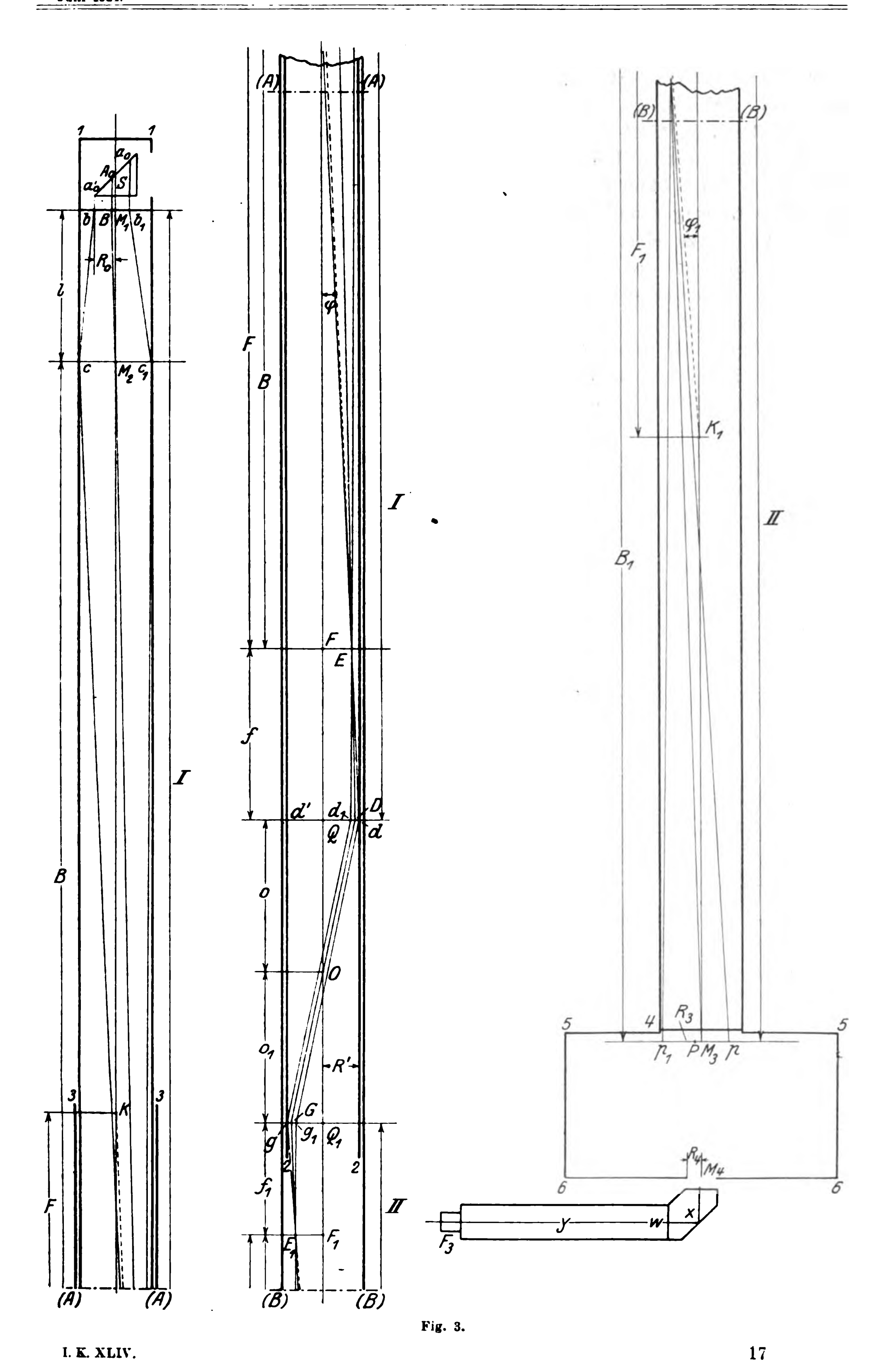


Fig. 3.

Digitized by Google

liche Aufrichteprisma, dessen Endflächen nicht parallel sind und das ein verhältnismäßig sehr kleines Gesichtsfeld besitzt, nicht in das optische System selbst eingebaut werden kann. Ich schlage als Aufrichteprisma das unter D. R. P. A. z. C 30126 und in *dieser Zeitschr. Jg. 1923* von mir beschriebene vor, bei dem sowohl das geometrische als das physikalische Gesichtsfeld verhältnismäßig bedeutend ist. Der Lichtweg im Prisma ist das 8,44 fache, der Abstand der Endflächen das 4,90 fache, die größte Ausdehnung quer gegen die optische Achse das 4,65 fache der halben Öffnung. Ich verbinde dieses Prisma zu einem Prismenobjektiv $M_3 M_4$, ergänzt mit einer achromatischen Linse Q_1 wodurch das zweite teleskopische System II entsteht. Im teleskopischen System I ist das erste Glied $M_1 M_2$ ein Kegelobjektiv, das zweite Glied eine achromatische Linie Q.

Während bei Verwendung gewöhnlicher teleskopischer Systeme der Forderung, alles oben ins Rohr einfallende Licht unten wieder herauszubringen, selbstverständlich abgesehen von Reflexions- und Absorptionsverlusten, nur dadurch Genüge geleistet werden kann, daß einzelne Linsen im Rohre und daher diesen selbst ein sehr großer Durchmesser gegeben wird, wird hier durch Verwendung der Prismenobjektive $M_1 M_2$ bzw. $M_3 M_4$, in welchen $F < B$ ist, diese Forderung leicht erfüllt. Da $F < B$, so ist derjenige Teil der Linse M_1 welcher für die ganze Fläche der Linse M_2 das Licht liefert, kleiner als der Durchmesser von M_2. Dieser letztere ist also maßgebend für die Weite des Rohrs, und der Durchmesser der Linse Q soll ebenso groß werden, die Durchmesser der Linsen des zweiten Systems sollen gleich oder kleiner ausfallen.

Im System I sammelt zich das aus Linse M_2 austretende Licht auf der Brennebene in E und fällt auf Linse Q, so daß der Randstrahl cE auch durch den Rand d von Q geht. Dann entspricht dem Durchmesser $c c_1 = 2R$ bei dem gezeichneten Neigungswinkel φ auf Linse Q das Stück dd_1. Aus der Abbildung läßt sich leicht ablesen $Dd = R \frac{f}{B}$, daher $FE = R \frac{B-f}{B+f}$, folglich $tg\,\varphi = \frac{R}{F} \cdot \frac{(B-f)}{(B+f)}$. Hieraus berechnet sich der halbe Durchmesser R_0 von $M_1 : R_0 = \frac{R \cdot F}{B} + \frac{l}{n} \operatorname{tg} \varphi$. Der Ort O, in welchem sich alle aus Linse Q austretenden Parallelstrahlenbüschel kreuzen, ist konjugiert zu M_2 für Linse Q, daher $O = OQ = \frac{f(B+f)}{B}$.

Für das II. System wird 0_1 etwas kleiner gewählt als 0 und ebenso die Brennweite f_1 von $Q_1 < f$. Dadurch wird der Durchmesser $2R'$ von $Q_1 < R$. Der Ort der Hinterlinse M_3 für das Prismenobjektiv $M_3 M_4$ ist konjugiert zu O für Q_1 und es wird $F_1 M_3 = B_1 = \frac{f_1^2}{(o_1 - f_1)}$; R' wird dann

$$R\left[\frac{Bo_1 + f(o - o_1)}{O}\right], \quad R_3 = \frac{R \cdot f f_1}{B B_1}; \qquad \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{R}{F_1} \cdot \frac{O_1 (B-f)}{O_1 (B_1 + f_1)} = \frac{R \cdot o_1 (B-f)}{F_1 \cdot o (B_1 + f_1)};$$

$$M_4 T = \frac{l_1}{n} \operatorname{tg} \varphi_1, \text{ wo } l_1 = 8{,}44 \cdot R_3$$

ist. Ferner

$$Tt = R_3 \frac{f_1}{B_1},$$

hieraus ergibt sich

$$R_4 = \frac{R \cdot 8{,}44}{r} \operatorname{tg} \varphi_1 + \frac{R_3 \cdot F_1}{B_1}.$$

Digitized by Google

Zahlenbeispiel.

Für das erste teleskopische System werde $F = 125$ cm, $B = 250$ cm, $l = 25$ cm. Hieraus ergibt sich, wenn die Linsen aus Crownglas bestehen:

$$r_1 = -\frac{25}{3{,}41363} = -7{,}32 \text{ cm}$$

$$r_2 = \frac{25}{1{,}44531} = +17{,}30 \text{ cm}$$

$$r_3 = \frac{250}{10{,}11805} = +24{,}71 \text{ cm}$$

$$r_4 = -\frac{250}{19{,}4848} = -12{,}83 \text{ cm}$$

Daher ist die erste Linse eine bikonkave Zerstreuungslinse, die zweite eine bikonvexe Sammellinse. Den Durchmesser der zweiten Linse wählt man ebenso wie denjenigen der Linse $Q = 12$ cm, $f = 25$ cm. Dann wird $\overline{Dd} = 0{,}6$ cm und $\operatorname{tg}\varphi = \frac{9}{11}\cdot\frac{6}{125} = \frac{54}{1375} = 0{,}039 \cdot M_1B = \frac{25}{1{,}6202} + \cdot 0{,}639 = 0{,}606$ cm. $\overline{Bb} = 3$ cm, daher $R_0 = 3{,}61$ cm; $O = 27{,}5$ cm; $\overline{QD} = 5{,}4$ cm. Man wähle $O_1 = 22{,}5$ cm und $f_1 = 20$ cm, so wird $\overline{Q_1G} = \frac{9}{11}\cdot 5{,}4 = 4{,}42$ cm, $\overline{Gg} = 0{,}6$ cm, daher $R' = 5{,}02$ cm, also Durchmesser der Linse $Q = 10{,}04$ cm, ferner $\overline{Q_1M_3} = 180$ cm, [M_3 ist zu O für Q_1 konjugiert], daher $F_1M_3 = 160$ cm, folglich $R_3 = 4{,}8$ cm. Wir wählen $F_1 = 60$ cm, also $F_1E_1 = \frac{8}{11}\cdot 5{,}4$ und

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{5{,}4\cdot 8}{11\cdot 60} = \frac{7{,}2}{110} = \frac{0{,}72}{11} = 0{,}065.$$

Da $l_1 = R_3 \cdot 8{,}44$ ist, so wird $M_4T = \frac{4{,}8\cdot 8{,}44\cdot 0{,}065}{1{,}6202} = 1{,}64$ cm; $Tt = 1{,}8$, folglich $R_4 = 3{,}44$ cm. Die Krümmungsradien der Linse M_4 seien r_1', r_2', die der Linse M_3: r_3', r_4'; dann ist $r_1' = \frac{6\cdot 40{,}512}{10\cdot 3{,}41363} = 7{,}12$ cm; $r_2' = 16{,}82$ cm; $r_3' = 27{,}51$ cm; $r_4 = 14{,}76$ cm.
Die Linse M_3 ist eine bikonvexe Sammellinse; Die Linse M_4 eine bikonkave Zerstreuungslinse. Das gebrochene Okularfernrohr siehe im folgenden Paragraphen.

§ 9. Spezialfall $F = B$. Gebrochenes astronomisches Fernrohr. Fortsetzung von § 8.

In diesem Falle wird $\varrho_1 = \varrho_2 = 0$, d. h. die Vorderlinse verschwindet und das Prisma hat eine ebene Vorderfläche. Für ein Flintglasprisma wird $\varrho_3 = \frac{\xi}{F}$, $\varrho_4 = \frac{\xi - 1}{F}$, für ein Crownglasprisma wird $\varrho_3 = -\frac{\eta}{F}$. Der hintere Hauptpunkt fällt mit der Hinterlinse zusammen. Die Krümmungsradien sind von l unabhängig. Wird beispielsweise ein gebrochenes Fernrohr hergestellt, dessen Prisma ein rechtwinklig abbiegendes Dachprisma ist, so ist in ihm l mindestens $= 2\cdot R\cdot\sqrt{3}$. Für das Fernrohr xy des vorigen Paragraphen soll $R \sim 3{,}5$ cm, also $l \sim 12{,}5$ cm betragen. Die beiden Krümmungsradien werden, wenn das Prisma aus Flintglas besteht und die Brennweite 36 cm ist:

$$r_3'' = 14{,}72 \text{ cm}, \qquad r_4'' = -14{,}94 \text{ cm};$$

Digitized by Google

es ist also eine bikonvexe Sammellinse in die hintere Höhlung des Flintglasprismas eingekittet. Beim Periskop von § 8 wird dann die halbe Breite des Bildes in der Brennebene $36 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = 3{,}4$ cm. Die Vorderlinse des Okulars müßte also einen Durchmesser von 4 cm haben, was noch bei 18facher Vergrößerung des Augenfernrohrs möglich wäre und die ganze Vergrößerung des Periskops wäre dann $\frac{18 \cdot \operatorname{tg} \varphi 1}{\operatorname{tg} \varphi}$ $= \frac{0{,}065 \cdot 18}{0{,}039} \sim 29$ fach.

Der Hauptvorzug des Instruments beruht darauf, daß für jeden Punkt des Gesichtsfeldes das ganze vom Kopfspiegel gelieferte Strahlenbündel zur Hervorbringung seines Bildes beiträgt.

Anmerkung: Nach dem Prinzip der Kegelobjektive, bei denen $B < F$ ist, ließe sich unschwer auch ein schwach vergrößerndes Telemikroskop mit einem im Verhältnis zu seiner Länge sehr dünnen Rohr konstruieren, das für Blasenuntersuchung durch die Harnröhre und ähnliche Zwecke sich eignen würde.

§ 10. Berücksichtigung der Linsendicke durch Näherungsrechnung.

Die bisherigen Resultate für die Krümmungshalbmesser sind nur als Näherungswerte anzusehen, da die Linsendicken ganz vernachlässigt wurden. Für die genauere trig. Berechnung müssen sie jedoch unbedingt berücksichtigt werden, und die Berechnung der Krümmungshalbmesser auf mehrere Dezimalen ist falsch, wenn man diese kleinen Größen ohne weiteres gleich Null setzt. Wir sehen das Verhältnis der Linsendicken zum Krümmungshalbmesser einer der Linsenflächen als eine kleine Größe 1. Ordnung an, gegen welche die Produkte zweier solcher kleiner Größen vernachlässigt werden können und welche selbst als kleine konstante Zahlen betrachtet werden, einerlei, ob dabei ein angenäherter Wert des Krümmungshalbmessers oder der genaue angewendet wurde. Ferner können in Produkten, deren einer Faktor eine solche kleine Größe ist, beim anderen Faktor die angenäherten oder die genaueren Werte der Krümmungshalbmesser nach Belieben verwendet werden, ohne größere Fehler als solche zweiter Ordnung zu begehen.

Bezeichnet man die Dicke der Vorderlinse mit s, die der Hinterlinse mit t, setzt zur Abkürzung: $\frac{s}{n} = \sigma, \frac{t}{n} = \tau, \frac{l}{n} = \lambda$ und schreibt für die Brennweiten der vier Flächen gegenüber den angrenzenden Medien:

$$(n'-1)\varrho_1 = p_1;\ (n-n')\varrho_2 = p_2;\ (n'-n)\varrho_3 = p_3;\ (1-n)\varrho_4 = p_4;$$

so erhält man zur Berechnung der Krümmungshalbmesser wie in § 2 die folgenden Gleichungen:

$$-\frac{1}{a} + \frac{n}{a_1} = p_1;\ -\frac{n}{a_1 - s} + \frac{n}{a_2} = p_2;\ -\frac{n}{a_2 - l} + \frac{n'}{b_3} = p_3;\ -\frac{n'}{b_3 - t} + \frac{1}{b_4} = p_4.$$

Setzt man hier $a = \infty$ und $b_4 = B - t$, wo unter B der Abstand des bildseitigen Brennpunktes vom zweiten Prismenscheitel verstanden ist, so gibt die Elimination von a_1, a_2, b_3 nach einer mühseligen und an die Gedächtniskraft eines Blinden, ziemlich hohe Anforderungen stellende Rechnung:

$$1 - \lambda(p_1 + p_2) - \sigma p_1 (1 - \lambda p_2) - \tau [p_1 + p_2 + p_3 - \lambda p_3 (p_1 + p_2)] + \tau \sigma p_1 (p_2 + p_3 - \lambda p_2 p_3) = \frac{B - t}{F}, \qquad 1\text{a})$$

wo für F die Gleichung gilt:

$$\frac{1}{F} = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 - \lambda (p_1 + p_2)(p_3 + p_4) - \sigma p_1 (p_2 + p_3 + p_4 - \lambda p_2 (p_3 + p_4)) - \tau p_4 [p_1 + p_2 + p_3 - \lambda p_2 (p_1 + p_2)] + \tau \sigma p_1 p_4 (p_2 + p_3 - \lambda p_2 p_3). \qquad 2\text{a})$$

Digitized by Google

Das letzte Produkt in 2a) fällt als kleine Größe 2. Ordnung weg, ebenso das letzte Produkt in 1a), weil der Klammerausdruck von der Größenordnung p_4 ist. 1a) schreiben wir, indem wir die angenäherten, ohne Berücksichtigung der Linsendicke berechneten Werte der p durch $\bar{p}$ von den genaueren Werten unterscheiden, in folgender Weise:

$$1 - \lambda(p_1 + p_2) - \sigma \bar{p}_1 [1 - \lambda(p_1 + p_2) + \lambda \bar{p}_1] - \tau \{\bar{p}_1 + \bar{p}_2 + \bar{p}_3 + \bar{p}_4 - \lambda(\bar{p}_1 + \bar{p}_2)(\bar{p}_3 + \bar{p}_4) - p_4 - \lambda \bar{p}_4 (p_1 + p_2)\} = \frac{B - t}{F}.$$

Nun ist aber: $\bar{p}_1 + \bar{p}_2 + \bar{p}_3 + \bar{p}_4 - \lambda(\bar{p}_1 + \bar{p}_2)(\bar{p}_3 + \bar{p}_4) = \frac{1}{F}$,

daher

$$1 - \lambda(p_1 + p_2) - \sigma \bar{p}_1 [1 - \lambda(p_1 + p_2) + \lambda \bar{p}_1] - \frac{\tau}{F} + \tau p_4 [1 - \lambda(p_1 + p_2)] = \frac{B - t}{F},$$

oder

$$[1 - \lambda(p_1 + p_2)][1 - \sigma \bar{p}_1 + \tau \bar{p}_4] - \sigma \bar{p}_1 \lambda \bar{p}_1 = \frac{B - t + \tau}{F} = \frac{B - t\left(\frac{n' - 1}{n'}\right)}{F}.$$

oder mit der Abkürzung: $\sigma \bar{p}_1 = x$; $\tau \bar{p}_4 = y$:

$$[1 - \lambda(p_1 + p_2)][1 - x + y] = \frac{B - t\left(\frac{n' - 1}{n'}\right)}{F} + x \cdot \lambda \bar{p}_1,$$

oder da $\frac{t\left(\frac{n'-1}{n'}\right)}{F}$ eine kleine Größe 1. Ordnung ist, nach Multiplikation mit $(1 + x - y)$ unter Wegfall der kleinen Größen 2. Ordnung:

$$(1 - \lambda)(p_1 + p_2) = \frac{B(1 + x - y) - t\left(\frac{n' - 1}{n'}\right)}{F} + x \cdot \lambda \cdot \bar{p}_1 \tag{3a}$$

Hieraus folgt:

$$p_1 + p_2 = \frac{n\left[F - B(1 + x - y) + t\left(\frac{n' - 1}{n}\right)\right]}{l \cdot F} - x \bar{p}_1, \tag{3b}$$

oder mit den Abkürzungen $\frac{\left(\frac{n' - 1}{n}\right)t}{B} = z$ und $F \cdot \bar{p}_2 \cdot x = u$:

$$(p_1 + p_2) F = \frac{n}{l}[F - B(1 + x - y - z)] - u. \tag{1}$$

Die Gleichung 2a) läßt sich wegen der ersten schreiben:

$$\frac{n[F - B(1 + x - y - z)]}{F \cdot l} - \bar{p}_1 x + (p_3 + p_4)[1 - \lambda(p_1 + p_2)]$$
$$- x[\bar{p}_1 + \bar{p}_2 + \bar{p}_3 + \bar{p}_4 - \lambda(\bar{p}_1 + \bar{p}_2)(\bar{p}_3 + \bar{p}_4) - \bar{p}_1 + \lambda \cdot \bar{p}_1 (p_3 + p_4)]$$
$$- y[\bar{p}_1 + \bar{p}_2 + \bar{p}_3 + \bar{p}_4 - \lambda(\bar{p}_1 + \bar{p}_2)(\bar{p}_3 + \bar{p}_4) - \bar{p}_4 + \lambda \bar{p}_4 (\bar{p}_1 + \bar{p}_2)]$$

aber in den letzten beiden Klammern ist die Summe der fünf letzten Glieder je gleich $\frac{1}{F}$, daher

Digitized by Google

$$\frac{1}{F} = \frac{n}{lF}[F - B(1 + x - y - z)] - \bar{p}_1 x + (\bar{p}_3 + \bar{p}_4)\left[\frac{B}{F}(1 + x - y - z) + \lambda \cdot \bar{p}_1 \cdot x\right]$$
$$- \frac{x}{F} + \bar{p}_1 \cdot x - (p_3 + p_4) x \cdot \lambda \cdot \bar{p}_1 - \frac{y}{F} + \bar{p}_4 \cdot y - \bar{p}_4 y \frac{F - B}{F}$$

oder nach Multiplikation mit F:

$$(1 + x + y) - \bar{p}_4 B \cdot y - \frac{n}{l}[F - B(1 + x - y - z)] = (p_3 + p_4)[B(1 + x - y - z)]$$

nach Multiplikation mit $(1 - x + y + z)$ unter Vernachlässigung der Glieder zweiter Ordnung:

$$[1 + 2y + z - \bar{p}_4 B \cdot y] - \frac{n}{l}[F(1 - x + y + z) - B] = B(p_3 + p_4),$$

oder endlich mit der abkürzenden Bezeichnung:

$$\bar{p}_4 B \cdot y = w,$$

$$[1 + 2y + z - w] = \frac{n}{l}[F(1 - x + y + z) - B] = B(p_3 + p_4). \qquad 2)$$

Ersetzt man die Werte von

$$(p_1 + p_2) \quad \text{und} \quad (p_3 + p_4) \text{ bzw. durch}$$
$$(n' - 1)(\varrho_1 - \varrho_2) + (n - 1)\varrho_2$$

und

$$(n' - 1)(\varrho_3 - \varrho_4) - (n - 1)\varrho_3$$

und differenziert dann die Gleichung 1) und 2) nach n und n', ersetzt aber die Differentiale dn und dn' durch die Differenzen Δn und $\Delta n'$ für zwei entfernte Spektrallinien, so erhält man wie in § 1 zwei neue Gleichungen, aus deren Verbindung mit 1) und 2) dann wie dort die genaueren Werte der reziproken Krümmungsradien folgen. Da $\bar{p}_4 = -(n - 1)\bar{\varrho}_4$ ist, so vertauschen wir das Vorzeichen von y und erhalten:

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{(n'-1)}{n'}\bar{\varrho}_1 \cdot s; \quad y = \frac{(n'-1)}{n}\bar{\varrho}_4 \cdot t; \quad z = \frac{\frac{(n'-1)}{n}t}{B}; \\ u &= \frac{(n'-1)^2}{n'} \cdot F \cdot \bar{\varrho}_1^2 \cdot s; \quad w = \frac{(n'-1)^2}{n'} B \cdot \bar{\varrho}_4^2 \cdot t \end{aligned}\right\} \qquad 3)$$

$$\left.\begin{aligned}
&F \cdot \varrho_1 = \frac{\xi}{l}[F - B(1 + x + y - z)] - (\xi - 1)u \\
&F \cdot \varrho_2 \text{ für Crownglasprisma:} \\
&\quad F\varrho_2 = \frac{\eta + 1}{l}[F - B(1 + x + y - z)] - \eta \cdot u \\
&F\varrho_2 \text{ für Flintglasprisma:} \\
&\quad F\varrho_2 = -\frac{\zeta - 1}{l}[F - B(1 + x + y - z)] + \zeta \cdot u \\
&B \cdot \varrho_3 \text{ für Crownglasprisma} \\
&\quad B\varrho_3 = \frac{\eta + 1}{l}[F(1 - x - y - z) - B] - \eta[1 - 2y + z - w] \\
&B\varrho_3 \text{ für Flintglasprisma:} \\
&\quad B\varrho_3 = -\frac{\zeta - 1}{l}[F(1 - x - y - z) - B] + \zeta[1 - 2y + z - w] \\
&\quad B\varrho_4 = \frac{\xi}{l}[F(1 - x - y - z) - B] - \xi[1 - 2y + z - w]
\end{aligned}\right\} \qquad 4)$$

Digitized by Google

Dabei ist zu beachten daß sich in den Abkürzungen von 3), n auf das Material der Linsen bezieht.

Zuerst werden nach den Formeln von § 1 ohne Berücksichtigung der Dicken die Werte $\bar{\varrho}_1$, $\bar{\varrho}_4$ und wenn nötig auch $\bar{\varrho}_2$ und $\bar{\varrho}_3$ angenähert berechnet und mit Rücksicht auf die notwendige Öffnung der Linsen aus einer Zeichnung oder überschlägigen Rechnung die Größe von s und t festgestellt. Dann erhält man aus 3) die Hilfswerte x, y, z, u, w, und hieraus nach 4) die genaueren Krümmungshalbmesser.

§ 11. Formeln zur trigonometrischen Rechnung.

(S. Fig. 4)

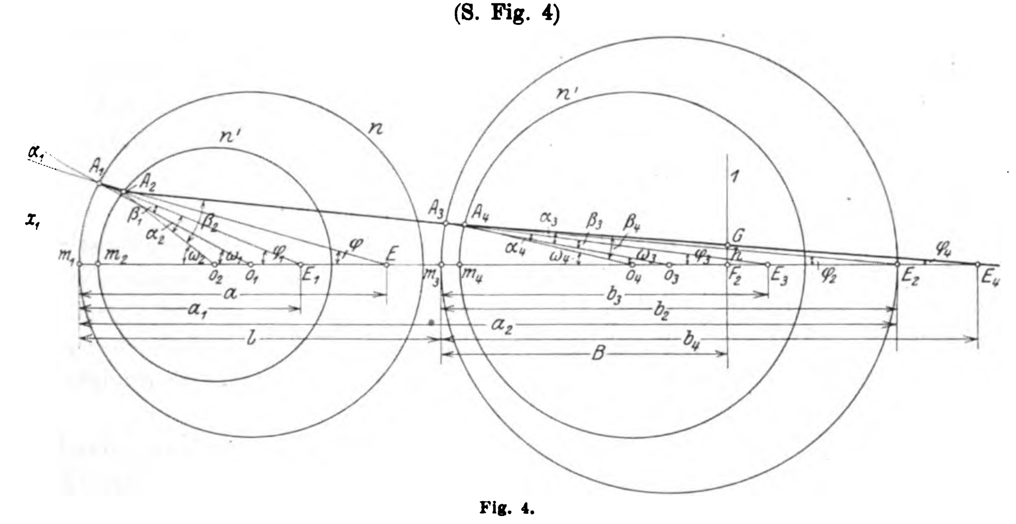


Fig. 4.

Gegeben: ω_1 und φ.

$$\omega_1 - \varphi = \alpha_1; \quad \sin\beta_1 = \frac{\sin\alpha_1}{n'}; \quad \omega_1 - \beta_1 = \varphi_1; \quad O_1E = r_1\frac{\sin\alpha_1}{\sin\varphi};$$

$$A_1E = r_1\frac{\sin\omega_1}{\sin\varphi}; \quad a = O_1E + r_1; \quad O_1E_1 = r_1\cdot\frac{\sin\beta_1}{\sin\varphi_1};$$

$$A_1E_1 = r_1\cdot\frac{\sin\omega_1}{\sin\varphi_1}; \quad a_1 = O_1E_1 + r_1; \quad O_2E_1 = a_1 - s - r_2;$$

$$\sin\alpha_2 = \sin\varphi_1\frac{O_2E_1}{r_2}; \quad \sin\beta_2 = \sin\alpha_2\cdot\frac{n'}{n}; \quad \alpha_2 + \varphi_1 = \omega_2;$$

$$\omega_2 - \beta_2 = \varphi_2; \quad A_2E_1 = r_2\cdot\frac{\sin\omega_2}{\sin\varphi_1}; \quad A_2E_2 = r_2\cdot\frac{\sin\omega_2}{\sin\varphi_2};$$

$$O_2E_2 = r_2\cdot\frac{\sin\beta_2}{\sin\varphi_2}; \quad a_2 = O_2E_2 + r_2; \quad b_2 = (a_2 - l); \quad O_3E_2 = b_2 - r_3;$$

$$\sin\alpha_3 = \sin\varphi_2\frac{O_3E_2}{r_3}; \quad \sin\beta_2 = \frac{\sin\alpha_3\cdot n}{n'}; \quad \omega_3 = \alpha_3 + \varphi_2;$$

$$\varphi_3 = \omega_3 - \beta_3; \quad A_3E_2 = r_3\cdot\frac{\sin\omega_3}{\sin\varphi_2}; \quad A_3E_3 = r_3\frac{\sin\omega_3}{\sin\varphi_3}; \quad O_3E_3 = r_3\frac{\sin\beta_3}{\sin\varphi_3};$$

$$b_3 = O_3E_3 + r_3; \quad b_3 - t - r_4 = O_4E_3; \quad \sin\alpha_4 = \sin\varphi_3\frac{O_4E_3}{r_4};$$

$$\sin\beta_4 = n'\cdot\sin\alpha_4; \quad \omega_4 = \alpha_4 + \varphi_3; \quad \varphi_4 = \omega_4 - \beta_4; \quad A_4E_3 = r_4\cdot\frac{\sin\omega_4}{\sin\varphi_3};$$

Digitized by Google

$$A_4 E_4 = r_4 \frac{\sin \omega_4}{\sin \varphi_4}; \quad O_4 E_4 = r_4 \cdot \frac{\sin \beta_4}{\sin \varphi_4}; \quad b_4 = O_4 E_4 + r_4 + t;$$

$$O_4 F_2 = B - r_4 - t; \quad h = E_4 F_2 \frac{\sin \varphi_4}{\cos \varphi_4}.$$

Sind zwei Parallelstrahlen für denselben Winkel φ berechnet, welche die Achse in E_4 und E_4' unter den Winkeln φ_4 und φ_4' schneiden und einander im Punkte P treffen, dessen Ordinate y und dessen Abszisse in bezug auf O_4 gleich x sei, so wird

$$E_4' P = (O_4 E_4 - O_4 E_4') \frac{\sin \varphi_4}{\sin (\varphi_4 - \varphi_4')},$$

$$\text{daher } y = \frac{(O_4 E_4 - O_4 E_4') \cdot \sin \varphi_4 \cdot \sin \varphi_4' \cdot \sin \varphi_4'}{\sin (\varphi_4 - \varphi_4')}$$

$$x = O_4 E_4' + \frac{(O_4 E_4 - O_4 E_4') \sin \varphi_4 \cos \varphi_4'}{\sin (\varphi_4 - \varphi_4')}.$$

Mittels der Durchrechnung verschiedener Strahlen erhält man

1. die Abweichung der Randstrahlen auf der Achse für verschiedene Farben.

2. die Koordinaten des Schnittpunkts für Parallelstrahlen verschiedener Neigung, wodurch sich auf die Bildwölbung schließen läßt und

3. unter Benutzung der von A. Gleichen in seinem Lehrbuch der geometrischen Optik aufgestellten Muster die Probe auf Aplanasie und Geringfügigkeit des Anastigmatismus.

Erweist sich ein Objektiv in einer dieser Hinsichten ungenügend, so kann durch Veränderung der Linsendicken s und t eine Verbesserung versucht werden. Ein weiterer Schritt zur Herstellung vollkommenerer Objektive mit sehr dickem Mittelglied würde darin liegen, daß das Material für die Hinterlinse anders gewählt würde als für die Vorderlinse. Auch für diesen Fall werden die Formeln ziemlich einfach. Bei der trigon. Rechnung benutzt man mit Vorteil die von W. Jordan neu herausgegebenen 7 stelligen Sin- und Cos-Tafeln aus dem opus palatinum, welche von 10 zu 10 Bogensekunden fortschreitend, die natürlichen Funktionswerte enthalten. Mittelst des Rechenschiebers können die Winkel bis auf $^1/_{100}''$ und die Funktionswerte auf Einheiten der 7. Dezimalstelle leicht interpoliert werden. Zur Rechnung benützt man die 7—8 stellige Rechenmaschine.

In ähnlicher Weise wie es Harting in seiner oben zitierten Arbeit für ein aus zwei dünnen Linsen verkittetes Objektiv und ein getrennt dahintergestelltes Prisma getan hat, ließe sich auch hier für Erreichung der Aplanasie ein methodisches Annäherungsverfahren aufstellen.

Auch bei der vorliegenden Arbeit hat mich Herr stud. phys. A. Roth durch Niederschrift des Textes und Zeichnung der Figuren nach meinem Diktat, durch Ausführung der größeren Zahlenrechnungen und durch die Korrektur der Druckbogen kräftig unterstützt. Er hat dadurch einem völlig erblindeten Greise die Veröffentlichueg seiner vor Jahren begonnenen Arbeit ermöglicht. Es drängt mich, meinem jungen Freunde für diese liebenswürdige Hilfe den wärmsten Dank auszusprechen.

Digitized by Google

Über die durch Drehung der Polarisationsebene in einer senkrecht zur Achse geschliffenen Quarzplatte hervorgerufenen Farben.

Von
Prof. Dr. phil. Dr. ing. h. c. **Carl Pulfrich** in Jena.
(Mitteilung aus dem Zeisswerk, Jena.)

Im vergangenen Jahre vielfach mit Studien über das Zustandekommen von Spektralfarben beschäftigt bin ich auch den Farbenerscheinungen nachgegangen, die eine Quarzplatte senkrecht zur Achse geschliffen zwischen zwei Nicols infolge Drehung der Polarisationsebene zu erkennen gibt. Hierbei habe ich gefunden, daß in einer Reihe von Lehrbüchern der Kristallographie und der Physik für die in Frage stehenden Farbenerscheinungen eine Erklärung gegeben wird, die eine Erklärung ist für Farben, die nicht da sind, während die Farben, die tatsächlich auftreten, von dieser Erklärung so gut wie gar nicht berührt werden.

Um dieses Urteil zu begründen, müssen wir uns vergegenwärtigen, was die Erklärung besagt und was mit ihr gemeint ist.

Wir wissen, daß für eine gegebene Dicke der Quarzplatte der Winkel, um den die Polarisationsebene gedreht wird, mit der Schwingungszahl ($1/\lambda$) des Lichtes und der Dicke (d) der Platte zunimmt. Für eine 1 mm dicke Quarzplatte sind die Drehungswinkel für die 6 Fraunhoferschen Linien

B	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*
15°,30	18°,24	21°,67	27°,46	32°,50	42°,20,

für eine 2 mm dicke Platte doppelt so groß usf. Die Winkelwerte sind beim linksdrehenden Quarz genau die gleichen, wie beim rechtsdrehenden Quarz, ebenso die Farben und ihre Aufeinanderfolge. Die eine Erscheinung ist das Spiegelbild der anderen. Wir können uns daher im folgenden auf die Vorgänge beim rechtsdrehenden Quarz beschränken.

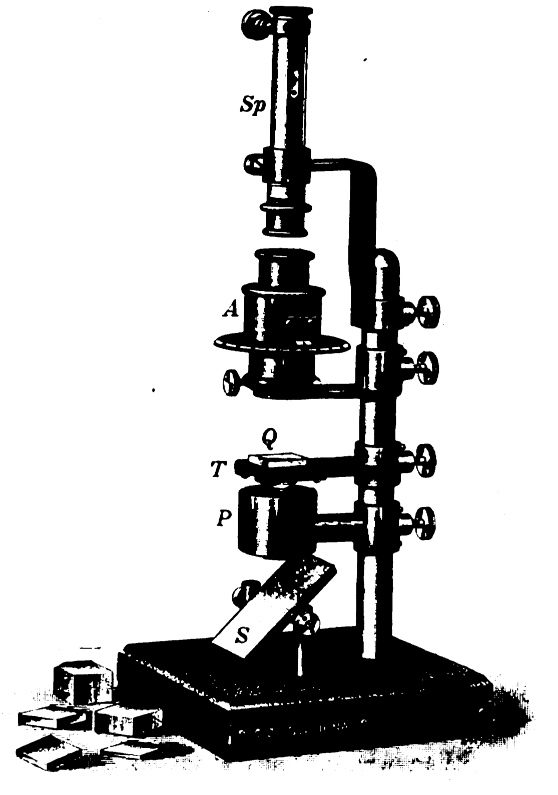


Fig. 1. Polarisationsapparat.
P Polarisator, *T* Tisch mit aufgelegter Quarzplatte *Q*, *A* Analysator mit Teilkreis. *Sp* aufsteckbares geradsichtiges Spektroskop, *S* Spiegel.

Wir stellen in dem in Fig. 1 abgebildeten Polarisationsapparat, den ich mir zur näheren Untersuchung der Farbenerscheinung habe machen lassen, die Durchlaßrichtung *AA* des Analysators parallel zur Durchlaßrichtung *PP* des Polarisators (Fig. 2), wobei also eine vollständige Aufhellung des Gesichtsfeldes eintritt. Wir legen zwischen die beiden Nicols eine 2 mm dicke Quarzplatte und müssen jetzt, um das Maximum der Durchlässigkeit für die Linien *B* ... *G* zuer zielen, den Analysator nacheinander auf die Drehungswinkel 30°,6 ... 84°,4 einstellen,

Digitized by Google

wie das in Fig. 3 beispielsweise für die Linie B geschehen ist. Es ist dann klar, daß die am meisten durchgelassene Schwingung auch den größten Einfluß auf die Farbwirkung haben muß, während die übrigen Schwingungen, gemessen in ihren Projektionen auf die Durchlaßrichtung AA des Analysators (siehe Fig. 3), um so mehr ihren Einfluß auf das Farbengemisch einbüßen, je weiter die Schwingungsrichtung der aus der Platte austretenden Strahlen von AA abweicht. Gegen dieses Argument an sich ist nichts einzuwenden, aber es ist falsch, hieraus den Schluß zu ziehen, daß die am stärksten durchgelassene Farbe nun auch tatsächlich in die Erscheinung tritt. Wäre das der Fall, dann müßten beim Wandern der Durchlaßrichtung AA von B nach G, wie es in jener Erklärung heißt, die Farben „in der Reihenfolge des Spektrums von rot nach blau erscheinen“. In Wirklichkeit aber sind die bei der Drehung des Analysators von 0^0—180^0 tatsächlich auftretenden Farben nicht allein ganz andere als die Farben des Spektrums rot, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett, sie liegen auch, wie die Ablesung am Teilkreis des Analysators erkennen läßt, ganz abseits von denjenigen Stellungen des Analysators, wo sie nach dieser Erklärung liegen müßten, während in diesen Stellungen selbst von einer Farbwirkung kaum etwas zu sehen ist. Man muß sich wirklich wundern, daß nicht schon von anderer Seite auf diesen Gegensatz zwischen Erklärung und Erscheinung aufmerksam gemacht worden ist. Wer die Erklärung zuerst gegeben hat, weiß ich nicht. Sie ist, wie wir gesehen haben, plausibel, und so ist der Irrtum von einem Lehrbuch in das andere und von einer Auflage in die nächstfolgende übergegangen. Ich beabsichtige nicht, die einzelnen Lehrbücher hier namhaft zu machen, in denen die „Erklärung“ enthalten ist. Die Herren Autoren und Herausgeber werden auch ohnedies dafür sorgen, daß bei einer neuen Auflage ihrer Bücher der Irrtum beseitigt wird und fehlerhafte Zeichnungen und ebensolche Erläuterungen verschwinden.

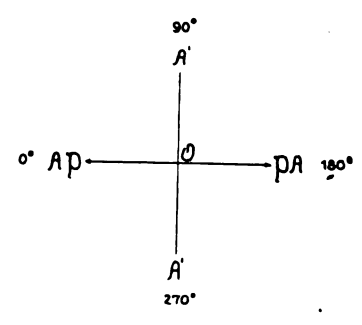


Fig. 2.
Die Durchlaßrichtung AA des Analysators ist der Polarisationsrichtung PP des Polarisators parallel gerichtet (sog. Parallelstellung). Das Gesichtsfeld ist hell.

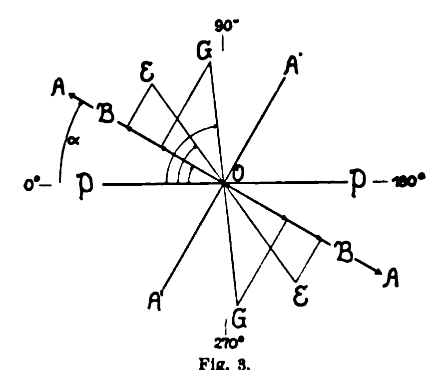


Fig. 3.
Drehung der Pol.-Ebene durch eine 2 mm dicke Qnarzplatte. Dreht man den Analysator der Reihe nach um α_B bis α_G, so werden die Farben in der Reihenfolge des Spektrums rot.... violett am meisten durchgelassen. Die beobachteten Farben sind aber der Reihe nach gelb-weiß, weiß und weiß-blau.

Man hat bei diesem Irrtum eine Tatsache nicht beachtet, die allerdings abseits vom kristallographischen Arbeitsgebiet liegt, nämlich, daß es ein Weber-Fechnersches Empfindungsgesetz gibt, welches in seiner Anwendung auf den vorliegenden Fall die obige Erklärung einfach außer Kraft setzt.

Sehen wir zunächst einmal zu, wie die Farbenerscheinung bei einer 2 mm dicken Quarzplatte — die obige Erklärung wird in der Regel an den Fall einer 2 mm dicken Platte angeknüpft — in Wirklichkeit aussieht. Den Drehungswinkel α des Analysators

Digitized by Google

wollen wir jetzt nicht mehr wie in Fig. 3 von der Parallelstellung der beiden Nicols, sondern von deren Kreuzstellung (Fig. 4) als Nullpunkt an rechnen, in der also das Gesichtsfeld dunkel ist. Führen wir jetzt die 2 mm dicke Quarzplatte ein, so erscheint als erste Farbe — für $\alpha = 0^0$ — ein zartes weißliches Blau. Lassen wir dann durch Drehen des Analysators — rechts herum beim rechtsdrehenden Quarz und links herum beim linksdrehenden Quarz — die Auslöschrichtung $A'A'$ der Reihe nach mit B, E und G zusammenfallen, so verstärkt sich mit der Annäherung von $A'A'$ an B die Blaufärbung immer mehr, geht mit der Annäherung an E in purpur, und mit der Annäherung an G in gelb über. Die Spektralfarben rot, grün und violett kommen überhaupt nicht vor. Mit dem Austritt von $A'A'$ aus dem Winkelraum BOG verwandelt sich die gelbe Farbe in gelbweiß und nimmt in dem Augenblick, in dem $A'A'$ auf EO senkrecht steht und auch schon eine Weile vorher und nachher ein rein weißes Aussehen an. Das ist die Stelle, in der die Durchlaßrichtung AA des Analysators mit EO zusammenfällt, wo also nach der obigen Erklärung das Gesichtsfeld grün gefärbt sein müßte. Drehen wir weiter, so erhält die weiße Farbe ein bläuliches Aussehen, und vom Drehungswinkel $\alpha = 180^0$ an wiederholt sich dann der Farbenwechsel genau so wie vorher.

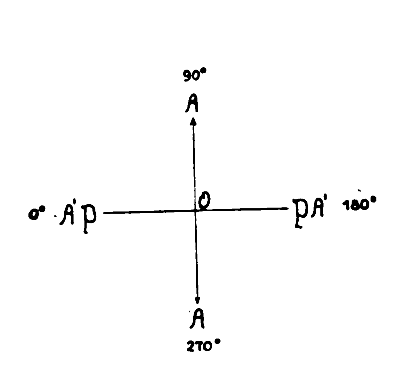


Fig. 4.
Die Auslöschrichtung $A'A'$ des Analysators ist der Polarisationsrichtung PP des Polarisators parallel gerichtet (sog. Kreuzstellung).
Das Gesichtsfeld ist dunkel.

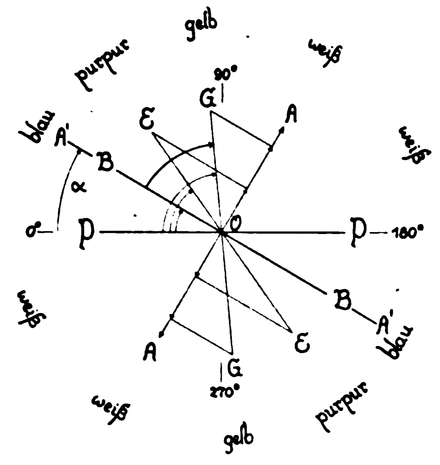


Fig. 5.
Läßt man bei der 2 mm dicken Quarzplatte die Auslöschrichtung $A'A'$ der Reihe nach mit $BO \ldots . GO$ zusammenfallen, so werden die Farben in der Reihenfolge des Spektrums ausgelöscht.
Die Farbenfolge ist hierbei blau, purpur, gelb.

Ist die Dicke der Quarzplatte kleiner als 2 mm, so ist der Winkelraum BOG nicht allein kleiner als in Fig. 5, er liegt auch näher an PP. Der Farbenwechsel von blau über purpur nach gelb wird sich daher auf einen immer kleiner werdenden Winkelraum in der Nähe von PP beschränken, während für den Rest der halben Umdrehung des Analysators die weiße Farbe erhalten bleibt. Ist die Platte dicker als 2 mm, so erstrecken sich die Farben über einen immer größer werdenden Winkelraum, während der Winkelraum für weiß immer kleiner wird und bei einer Dicke von 4 bis 5 mm schon ganz verschwunden ist. Alsdann treten Erscheinungen auf, die weiter unten noch kurz besprochen werden sollen.

Die Erklärung für das Auftreten der Farben blau, purpur, gelb ist also die, daß je nach der Stellung von $A'A'$ innerhalb des Winkels BOG immer ein Teil des Spektrums, in Fig. 5 beispielsweise rot, ausgelöscht wird, während die übrigen

Digitized by Google

Teile des Spektrums in ihren Projektionen auf *AA* wirksam bleiben. Mit dieser Erklärung sage ich nichts Neues, sie findet sich u. a. ansgesprochen in dem bekannten Lehrbuch von Müller-Pouillet, II. Bd., herausgegeben von O. Lummer, und ist dort durch sehr schöne graphische Darstellungen illustriert.

Der Effekt ist also genau derselbe wie bei einer farbigen Flüssigkeit, die blau erscheint, wenn der Absorptionsstreifen im roten Teile des Spektrums gelegen ist, eine Purpurfarbe aufweist (z. B. beim übermangansauren Kali), wenn der mittlere Teil des Spektrums ausgelöscht wird und eine gelbe Farbe annimmt, wenn der Absorptionsstreifen im blauvioletten Teile des Spektrums sich befindet. Das ist mehr als ein Vergleich. Man braucht nur über den Polarisationsapparat ein geradsichtiges Taschenspektroskop (siehe Fig. 1) zu setzen, um zu erkennen, daß dieser Absorptionsstreifen auch in den Polarisationsfarben der Quarzplatte tatsächlich vorhanden ist und daß er beim Übergang der Auslöschrichtung *A'A'* von *B* nach *G* das Spektrum vom roten zum blauen Ende durchwandert.

Bei einer 6,7 mm dicken Quarzplatte ist der Winkelraum *BOG* bereits auf 180° angewachsen, aber schon lange vorher ist die Farbe weiß ganz verschwunden, an ihre Stelle ist die Farbe grün getreten. Sie bildet den Übergang von gelb zu blau und ist die Folge davon, daß im spektralzerlegten Licht jetzt zwei Absorptionsstreifen auftreten, von denen der eine das rote, der andere das violette Ende des Spektrums auslöscht. Fig. 6 zeigt für eine 8 mm dicke Platte die der grünen Farbe entsprechende Stellung von *A'A'* zum Kreisbogen *BOG*, der, da er größer ist als 180°, an zwei Stellen von *A'A'* geschnitten wird.

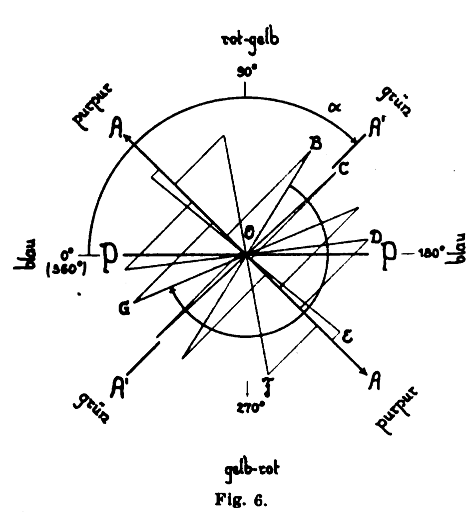


Fig. 6.
Drchung der Palarisationsebene durch eine 8 mm dicke Quarzplatte. In der angegebenen Lage der Auslöschrichtung *A' A'* werden die beiden Enden des Spektrums ausgelöscht, und so erscheint die Farbe grün.

Geht man zu noch dickeren Platten über — ich habe mir einen Satz von 1, 2, 4, 8 und 16 mm dicken Platten anfertigen lassen (Fig. 1), die in den verschiedenen Kombinationen übereinandergelegt den Verlauf der Erscheinung von der Dicke 1 bis 31 mm mit einem Dickenunterschied von 1 mm zu beobachten gestatten — so wird der Winkel *BOG* 360° und noch mehr, so daß in jeder Lage des Analysators jedesmal zwei, drei oder noch mehr Teile des Spektrums ausgelöscht werden und das resultierende Farbengemisch hervorgerufen wird von den Wellenlängenkomplexen, die zwischen den Absorptionsstreifen gelegen sind.

Von besonderem Interesse ist hierbei das erstmalige Wiederauftreten von Weiß als die Folge des Zusammenwirkens von drei Wellenlängenkomplexen, die durch zwei passend gelegene Absorptionsstreifen von einander getrennt sind. Das ist z. B. bei einer 14 mm dicken Quarzplatte der Fall, wenn man den Analysator so stellt, daß die Mitte des einen Absorptionsstreifens mit der *D*-Linie, die Mitte des anderen mit der *F*-Linie zusammenfällt. Rot, Grün und Dunkelblau sind hierbei die Farben, die gemischt Weiß ergeben. In den benachbarten Stellungen des Analysators treten wieder Farben auf, sie sind aber viel blasser als die bei den dünnen Platten beobachteten Farben. Sie werden auch bei weiter zunehmender Plattendicke immer

Digitized by Google

blasser, so daß sie von der beobachteten Maximaldicke von 31 mm an schon nahezu ganz verschwunden sind und einem für alle Stellungen des Analysators fast gleichmäßig aussehenden Weiß Platz gemacht haben. Im Spektroskop sieht man dann fünf und mehr gleichmäßig über das Spektrum verteilte Absorptionsstreifen.

In allen vorgenannten Fällen wandern die Streifen, wenn die Drehung des Analysators der Drehung der Polarisationsebene gleichgerichtet ist, vom roten zum blauen Ende des Spektrums, ein für dicke Quarzplatten besonders willkommenes, im übrigen bekanntes Erkennungsmittel, ob die Quarzplatte rechts oder links herum dreht.

Sehen wir jetzt zu, weshalb die obige Erklärung, trotzdem sie in ihren Argumenten richtig ist, in ihrem Endresultat so vollständig versagt. Ich hatte bereits oben auf das Weber-Fechnersche Empfindungsgesetz hingewiesen. Das Gesetz besagt, daß die Wahrnehmbarkeit eines Helligkeitsunterschiedes weniger von der Größe des Unterschiedes, als vielmehr von dem Verhältnis dieses Unterschiedes zur Helligkeit abhängt und daß dieses Verhältnis für einen eben noch wahrnehmbaren Unterschied innerhalb sehr weiter Grenzen als konstant anzusehen ist. Das bedeutet also, daß bei geringen Helligkeitsstufen schon eine sehr geringe Änderung der Helligkeit ausreicht, um den Unterschied wahrnehmbar zu machen, während bei größeren Helligkeiten hierfür schon eine wesentlich größere Änderung der Helligkeit erforderlich ist. Schon das Aufsuchen der beiden Nicolstellungen, in denen die Schwingungsrichtungen der beiden Nicols parallel oder gekreuzt zueinander stehen, liefert hierfür ein eklatantes Beispiel. Denn während schon die geringste Abweichung von der Kreuzstellung eine sofort erkennbare Aufhellung des vorher dunklen Gesichtsfeldes zur Folge hat, ist um den Drehungswinkel 90^0 herum selbst bei sehr viel größeren Abweichungen von 90^0 die tatsächlich vorhandene Helligkeitsänderung kaum zu erkennen. Das ist auch der Grund, weshalb man bei Photometern, die sich des drehbaren Analysators mit Teilkreis zur Helligkeitsmessung bedienen, bei der Bestimmung des Nullpunktes der Teilung immer nur auf größte Dunkelheit und nicht auf größte Helligkeit einstellt.

Der Verlauf der Helligkeit beim Übergang aus der Kreuzstellung der beiden Nicols in die Parallelstellung vollzieht sich in folgender Weise. Bezeichnet man den Drehungswinkel des Analysators mit α, die durchgelassene Lichtmenge für $\alpha = 0^0$ mit Null und für $\alpha = 90^0$ mit 100, so ist (siehe Fig. 7) die in die Durchlaßrichtung des Analysators fallende Komponente der Lichtintensität gegeben durch $i = 100 \cdot \sin^2 \alpha$. Der Verlauf der hiernach berechneten i-Kurve ist in Fig. 8 wiedergegeben. Die Kurve hat für $\alpha = 45^0$, $i = 50$ einen Wendepunkt und schmiegt sich von hier an in genau der gleichen Krümmung unten an die Null-Abszisse und oben an die 100-Abszisse an. Somit hat die Drehung des Analysators von 0^0 bis 10^0 für den absoluten Betrag der Intensitätsänderung genau die gleiche Wirkung wie die Drehung von 80^0 bis 90^0. Aber die Empfindung urteilt anders über diese Dinge, sie urteilt nicht nach arithmetischen, sondern nach geometrischen Intervallen der Lichtintensität, und daher kommt es, daß die Helligkeitsunterschiede in der Nähe von Null so viel stärker in die Erscheinung treten, als die Unterschiede in der Nähe von 90^0.

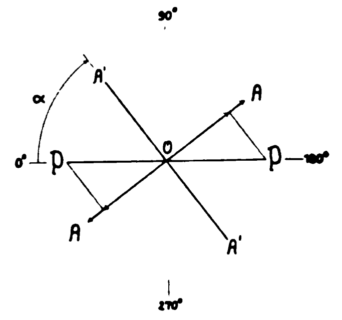


Fig. 7
Beim Übergang des Analysators aus der Kreuzstellung (Fig. 4) in die Parallelstellung (Fig. 2), ist der Verlauf der Helligkeit gegeben durch: $i = 100 \cdot \sin^2 \alpha$.

Dieser Unterschied wird noch besser verständlich, wenn wir die am Analysator abgelesenen Intensitäten nach gleichgroßen Intervallen der Empfindung ordnen. Um

Digitized by Google

an Bekanntes anzuschließen, benutzen wir zur Darstellung der gleichstufigen Empfindungsskala die logarithmische Reihe, die auch Wilhelm Ostwald zur Darstellung seiner aus Pigmentfarben zusammengesetzten Grauskala $a, b, c, \ldots z$ benutzt hat. Die nachstehend gekürzt wiedergegebene Tabelle gibt nicht allein Auf-

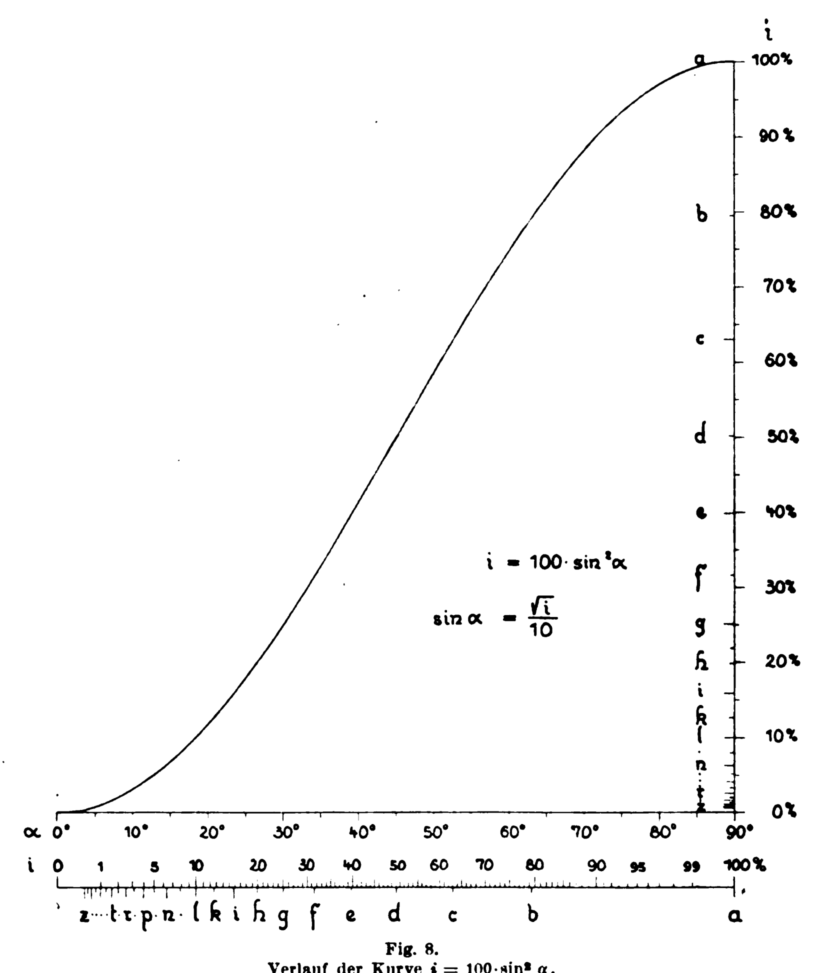


Fig. 8.
Verlauf der Kurve $i = 100 \cdot \sin^2 \alpha$.
Die beiden unter der Gradteilung $\alpha = 0 - 90^\circ$ angebrachten Teilungen zeigen an, wie der Quadrant des Analysatorteilkreises geteilt werden muß, wenn man am Apparat die Intensitäten und die Angaben der gleichstufigen Empfindungskala gleich ablesen will.

schluß über den Gang der Rechnung und über den Verlauf der den einzelnen Stufen zugehörigen Werte für i und α, sie liefert auch — siehe insonderheit die beiden Kolumnen Δi und $\Delta \alpha$ — die numerische Bestätigung für das oben Gesagte und läßt erkennen, wie leicht ein Irrtum entstehen kann, wenn man die Sichtbarkeit einer Erscheinung unter Nichtachtung des Empfindungsgesetzes nur nach der absoluten Größe des Helligkeitsunterschiedes beurteilt.

Graphisch ist der Inhalt der Tabelle noch dadurch zum Ausdruck gebracht worden, daß in Fig. 8 neben die Teilung für α und i noch die Teilstriche für die Grauskala $a\, b \ldots z$ gesetzt sind.

Solange die Schwingungen für die verschiedenen Farben des Spektrums noch in der Richtung PP vereinigt sind, verteilt sich bei einer gegebenen Stellung des Analysators die durch ihn hervorgerufene Lichtschwächung auf sämtliche Farben in

Digitized by Google

Tabelle.

$i = 100 \sin^2 \alpha$, $\sin \alpha = \frac{1}{10}\sqrt{i}$, $\log \sin \alpha = \frac{1}{2} \log i - 1$.

Grauskala	$\log i$	i	Δi	$\log \sin \alpha$	α	$\Delta \alpha$
a	2,0	100		0,0	90°	
			20,6			27°,0
b	1,9	79,4		0,95—1	63°,0	
			16,3			10°,4
c	1,8	63,1		0,90—1	52°,6	
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
k	1,1	12,6		0,55—1	20°,8	
			2,6			2°,4
l	1,0	10,0		0,50—1	18°,4	
			2,1			2°,0
m	0,9	7,9		0,45—1	16°,4	
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
n	0,1	1,3		0,05—1	6°,4	
			0,3			0°,7
v	0,0	1,0		1,00—2	5°,7	
			0,2			0°,6
w	0,9—1	0,8		0,95—2	5°,1	
			0,2			0°,5
x	0,8—1	0,6		0,90—2	5°,6	
			0,1			0°,5
y	0,7—1	0,5		0,85—2	4°,1	
			0,1			0°,5
z	0,6—1	0,4		0,80—2	3°,6	
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
Absolut schwarzer Körper	— ∞	0	—	— ∞	0	—

der Weise, daß von jeder Farbe jedesmal der gleiche prozentuale Teil ausgelöscht wird. Es bleibt also auch von jeder Farbe der gleiche prozentuale Anteil übrig. Das Verhältnis der über das Spektrum verteilten Lichtmengen bleibt daher das gleiche wie im ungeschwächten weißen Licht. Wäre es anders, so müßte das durch den Analysator geschwächte Licht farbig aussehen.

Ganz anders liegen die Dinge, wenn die Quarzplatte eingeschoben ist. Denn jetzt sind die Schwingungen für die verschiedenen Farben des Spektrums, nach Wellenlängen geordnet, auf den Winkelraum BOG ausgebreitet. Die bei einer gegebenen Analysatorstellung eintretende prozentuale Lichtschwächung ist daher jetzt für jede Farbe eine andere. Es muß somit ganz allgemein bei jeder Stellung des Analysators eine Farbwirkung eintreten, vorausgesetzt natürlich, daß die Unterschiede zwischen den prozentualen Anteilen für die verschiedenen Farben genügend groß sind, um wahrgenommen zu werden. Um die absoluten Beträge, die nicht allein von der Strahlungsenergie der Lichtquelle, sondern auch von der Empfindlichkeit des Auges für die verschiedenen Teile des Spektrums abhängen, brauchen wir uns hier nicht zu kümmern.

Fig. 9. Abhängigkeit der Intensität i für eine bestimmte Farbe (λ) von der Drehung der Polarisationsebene (φ_λ) und dem Drehungswinkel (α) des Analysators

$$i_\lambda = 100 \cdot \sin^2 (\alpha - \varphi_\lambda).$$

Für $\alpha = \varphi_\lambda$ (Fig 5) wird $i_\lambda = 0$ und für $\alpha = \varphi_\lambda + 90^\circ$ wird $i_\lambda = 100$, also gleich der Intensität, die der Farbe im weißen Licht zukommt.

Die jedesmal übrigbleibenden prozentualen Lichtmengen können wir sofort angeben. Sei α der Drehungswinkel des Analysators von seiner Nullstellung (Fig. 4) an gerechnet und der Drehungswinkel der Quarzplatte für eine bestimmte Wellenlänge φ_λ, so ist die Abhängigkeit der Intensität i von α (siehe Fig. 9) gegeben durch

Digitized by Google

$i = 100 \cdot \sin^2(\alpha - \varphi_\lambda)$, also durch eine Kurve, die genau den gleichen Verlauf hat wie die Kurve in Fig. 8, nur mit dem Unterschied (siehe Fig. 10), daß jede einzelne dieser Kurven um den der Wellenlänge zugehörigen Drehungswinkel φ_λ gegen den Nullpunkt der Kreisteilung verschoben ist. Wenn wir also jetzt für unsere 2 mm dicke Quarzplatte und für die hauptsächlich in Betracht kommenden Stellungen des Analysators:

$$\alpha = \quad 0^0 \quad 31^0 \quad 55^0 \quad 84^0$$

und die um 90⁰ davon abstehenden Stellungen

$$\alpha = \quad 90^0 \quad 121^0 \quad 145^0 \text{ und } 174^0$$

aus den drei Kurven in Fig. 10 die Ordinaten für *B*, *E* und *G* herausholen und sie, wie in Fig. 11 geschehen ist, zum Vergleich nebeneinander stellen, so ist damit sofort das relative Verhältnis der übrigbleibenden prozentualen Anteile für die verschiedenen Farben des Spektrums graphisch zum Ausdruck gebracht. Mit dieser graphischen Darstellung ist aber auch das Verhältnis der einzelnen Ordinaten zur Empfindungsskala *a*, *b* ... *z* richtig wiedergegeben, denn auch die Intervalle der Empfindungsskala

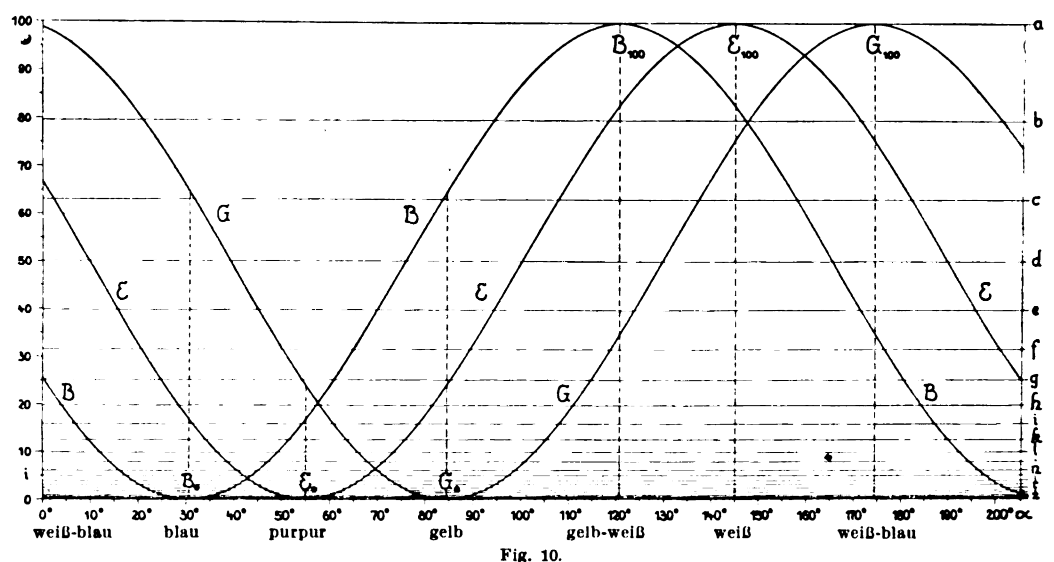


Fig. 10.

Die für eine 2 mm dicke Quarzplatte nach der Formel in Fig. 9 für *B*, *E* und *G* und $\alpha = 0$ bis 180° berechneten Intensitäten *i*, ihre Lage zur gleichstufigen Empfindungsskala und die bei der Drehung des Analysators aus seiner Nullsteilung (Fig. 4) heraus auftretenden Farben.

sind nach prozentualen Anteilen der Intensität bemessen. Wir können also sofort den Unterschied der einzelnen Ordinaten für ein bestimmtes α in Intervallen der Empfindungsskala angeben.

Daher ist es auch ganz begreiflich, daß für $\alpha = 0^0 = 180^0$ die Abweichung von weiß nur in einer schwachen Blaufärbung zutage treten kann, die dann aber mit dem Übergang zu $\alpha = 31^0$ in ein kräftiges Blau übergeht. In der gleichen Weise sind für die übrigen Winkel α die Ordinaten zu bewerten. Unter jeder der 8 Figuren ist die resultierende Farbwirkung angegeben. Man erkennt sofort, daß die drei Stellungen $\alpha = 31^0$, 55^0 und 84^0 diejenigen sein müssen, in denen die Farbwirkung am stärksten zum Ausdruck kommt, während in den drei um 90⁰ davon entfernt liegenden Stellungen 121⁰, 145⁰ und 174⁰ die Farbwirkung nur eine sehr geringe sein kann, fallen doch für $\alpha = 145^0$ die Unterschiede der drei Ordinaten und damit aller dazwischen liegenden Farben vollständig in das Intervall der beiden ersten Empfindungsstufen.

Digitized by Google

Ich habe in Fig. 11 die um 90° auseinander liegenden Stellungen des Analysators jedesmal untereinander gesetzt, um damit zu zeigen, was übrigens bekannt ist, daß die um 90° auseinander liegenden Farben einander komplementär sind. Wie man sieht, ergänzen sich die zusammengehörigen Ordinaten für *B* und ebenso die zusammengehörigen Ordinaten für *E* und *G* jedesmal zu 100 und, da sie in dem gleichen Maße gemessen sind, jedesmal zu der Intensität, die der betreffenden Farbe im weißen Licht zukommt. Für die beiden Winkel 55° und 145° liegen die beiderseitigen Unterschiede an den einander entgegengesetzten Enden der Empfindungsskala. Der Unterschied in der Wahrnehmbarkeit der Färbung muß sich daher hier in besonders hohem Grade bemerkbar machen. Das ist auch der Fall, auf der einen Seite die lebhafte Purpurfärbung, auf der anderen das scheinbar neutrale Weiß.

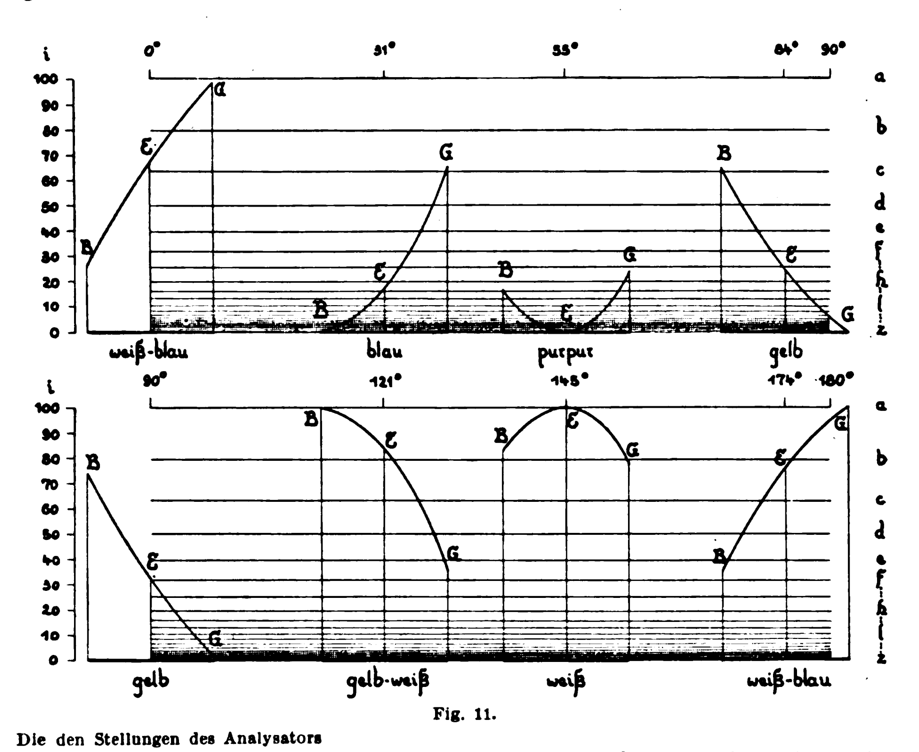


Fig. 11.

Die den Stellungen des Analysators $\alpha = 0°$, 31°, 55°, 84°, 90°, 121°, 145° und 174° zugehörigen, der Fig. 10 entnommenen Ordinaten für *B*, *E* und *G* und die für das Zustandekommen der Farben maßgebenden Empfindungsintervalle. Die Summe der um 90° auseinander liegenden Ordinaten ist für jede Farbe gleich der Intensität (100), die der Farbe im weißen Licht zukommt. Die um 90° voneinander abstehenden Farben sind daher einander komplementär, d. h. sie ergeben bei ihrer optischen Vereinigung ein vollkommenes Weiß.

Es klingt paradox, wenn wir sagen, daß die beiden Farben purpur und weiß einander komplementär sind, da ja für gewöhnlich purpur und grün als einander komplementäre Farben bezeichnet werden. Und doch ist es der Fall, und zwar in aller Strenge. Schon die Mischung einer Farbe mit sehr viel weiß läßt die Farbe nahezu vollständig in weiß aufgehen. Mischt man aber die beiden vorliegenden Farben purpur und weiß, so entsteht auch ein im physikalischen Sinne vollkommenes Weiß, insofern nämlich in der Mischung alle Wellenlängenkomplexe in genau der gleichen Stärke wie im spektralunzerlegten Licht enthalten sind. Denn in dem scheinbar neutralen Weiß bei 145° ist, wie unsere Ausführungen ergeben haben, die Farbe grün, wenn auch für das Auge nicht mehr unmittelbar erkennbar, den Farben an den Enden

Digitized by Google

des Spektrums an Intensität prozentual überlegen, um einen Betrag, der, in seiner Abweichung von 100 für sich allein wirksam, bei 55° die Farbe Purpur hervorruft.

Dem gleichen scheinbaren Paradoxon begegnen wir beim Studium der Farbenerscheinungen, die Prof. Kirschmann in Leipzig in seiner in der physikalischen Zeitschrift 1917, S. 195 bis 205 veröffentlichten Arbeit über das „gewöhnliche und das umgekehrte Spektrum" beschrieben hat. Das umgekehrte Spektrum kann man u. a. in der Weise erzeugen, daß man den Spalt eines Spektroskops entfernt und vor die freie Öffnung genau an dieselbe Stelle, an der sich vorher der Spalt befand, einen undurchsichtigen Steg, den sog. negativen Spalt, anbringt. Macht man die Anordnung so, daß der eine Spalt in die geradlinige Verlängerung des anderen zu liegen kommt, so liegen die beiden Spektren unmittelbar nebeneinander, und es läßt sich dann leicht nachweisen, daß die jedesmal um gleichviel abgelenkten Farben des gewöhnlichen und des umgekehrten Spektrums einander vollkommen komplementär sind.

Macht man die Breite eines jeden der beiden Spalte ungefähr halb so groß wie die Länge des Spektrums, so zeigt das gewöhnliche Spektrum die Hauptfarben rot, grün und violett, das umgekehrte Spektrum dagegen die Komplementärfarben blau, purpur und gelb wie bei den Quarzplatten, alle Farben in der kräftigsten Farbwirkung. Macht man die Spalte, beide unter sich immer genau gleich breit, so eng wie beim Spektroskop, so verblassen die Farben des umgekehrten Spektrums und sind von weiß kaum noch zu unterscheiden, während das gewöhnliche Spektrum die bekannten von Newton sogenannten Farben rot, orange, gelb, grün, blau, indigo und violett zu erkennen gibt. Beim Mischen sehen wir, daß jede dieser Farben des gewöhnlichen Spektrums mit dem ihm gegenüberstehenden Weiß des umgekehrten Spektrums wieder ein vollkommenes Weiß liefert. Die Erklärung für dieses physiologisch interessante Paradoxon ist die, daß das dunkle Stegbild in den verschiedenen Teilen des umgekehrten Spektrums einen durch das Spektrum wandernden Absorptionsstreifen darstellt, der jedesmal denjenigen Wellenlängenkomplex, allerdings für das Auge unwirksam, auslöscht, der im gewöhnlichen Spektrum für sich allein die ihm zugehörige Farbe hervorruft. Die Verhältnisse liegen hier ganz analog dem Verhalten unserer Quarzplatte bei 55° und 145°, nur sind hier die Farben des umgekehrten Spektrums, bei den Quarzfarben die Farben des gewöhnlichen Spektrums diejenigen, die unter dem erdrückenden Einfluß von Weiß sich der Wahrnehmung entziehen.

Die Konstanten des Polarplanimeters.

Von
Prof. Dr. **A. Haerpfer** in Prag.

Die Bestimmung der Konstanten des Polarplanimeters ist ein in dem einschlägigen Schrifttum so stark bearbeitetes Thema, daß es auf den ersten Blick nicht leicht erscheinen mag, dem bisher Errungenen noch etwas Neues hinzuzufügen. Wem es jedoch auf ein genaueres Verfahren ankommt, mit dem Endziel, zu ausgeglichenen Werten der Konstanten zu gelangen, der wird — wenigstens nach dem Dafürhalten des Verf. — hier ein nicht allzu reich bebautes Feld vorfinden.

Sieht man von dem praktisch minder wichtigen Fall ab, daß das Polarplanimeter — zur Ermittlung der Inhalte großer Flächen — bei einer Polstellung innerhalb der Figur gebraucht wird, so sind es hauptsächlich zwei Instrumentkonstanten, die hier interessieren. Die eine der beiden Konstanten ist nichts anderes als der unvermeidliche Fehler in der Justierung des Nonius, an dem die jeweilige Länge des


Digitized by Google

Fahrarmes abgelesen wird. Es sollte sich die Ablesung null ergeben, wenn angenommen würde, daß die Fahrstiftspitze mit der Gelenksachse zusammenfällt. Die Abweichung von diesem Sollbetrag wird zu einer Instrumentkonstanten a_0, deren Wert immer nahezu null sein wird. Die andere der beiden Konstanten ist der Radius r des Spurkranzes der auf dem Plan wälzenden Meßrolle. O. Eggert hat in seiner „Einführung in die Geodäsie"[1]) eine näherungsweise Bestimmung dieser beiden Konstanten angegeben. Um zu ausgeglichenen Werten für dieselben zu gelangen, ist eine Untersuchung der gegebenen Funktionsbeziehung erforderlich, um die Methode der kleinsten Quadrate anwenden zu können.

Eine Bestimmung von „Teilkonstanten" des Polarplanimeters aus überschüssigen Beobachtungen wird in Hartner-Doležals „Handbuch der Niederen Geodäsie"[2]) behandelt. Doch entspricht das dort angewendete Ausgleichsverfahren, durch das nicht unmittelbar die Messungen, sondern deren Kehrwerte verbessert werden, nicht der Gaußschen Fehlertheorie; eine solche Ausgleichung liefert nicht die wahrscheinlichsten Werte der Unbekannten.

Im folgenden nun ist davon auszugehen, daß für eine bestimmte Fahrarmeinstellung a die tatsächliche Länge s des Fahrarmes, ausgedrückt in Einheiten seiner Längenteilung, aus

$$s = a - a_0$$

gefunden wird. Man erhält hieraus die Größe s in mm, wenn rechts mit dem Wert der Teilungseinheit, gewöhnlich $\frac{1}{2}$ mm, bei manchen Planimetern von A. Ott in Kempten $\frac{5}{6}$ mm, multipliziert wird.

Für den letzten Fall erhält man den Inhalt F einer umfahrenen Figur in mm² aus

$$F = 2 r \pi \frac{n}{1000} \frac{5}{6} (a - a_0).$$

Hierin bedeutet n die aus der Differenz der Ablesungen vor und nach der Umfahrung erhaltene Anzahl der Umdrehungen der Meßrolle. Mithin ist

$$\frac{6000 F}{10 \pi} \frac{1}{r} = n a - n a_0.$$

Unter Zugrundelegung dieser Funktionsbeziehung wurden für das Polarplanimeter Nr. 12614 von A. Ott, Kempten, die ausgeglichenen Werte der beiden Konstanten r und a_0 aus wiederholten Umfahrungen einer Probefläche F bei verschiedenen Fahrarmlängen ermittelt.

Führt man die neue Unbekannte

$$x = \frac{1}{r}$$

ein und setzt

$$a_0 = y, \quad \text{dann} \quad \frac{6000 F}{10 \pi} = p,$$

so entsteht

$$p x + n y - n a = 0.$$

Diese Funktion ist zunächst linear zu machen. Man führt für die Unbekannten Näherungswerte x_0 und y_0 ein, erteilt ihnen die Verbesserungen ξ und η und rechnet für die Beobachtungen n eine Verbesserung v. Die Fahrarmeinstellung a wird als Ordnungszahl behandelt. Damit ist:

$$p (x_0 + \xi) + (n + v)(y_0 + \eta) - (n + v) a = 0.$$

[1]) Leipzig 1907, *S. 188.* [2]) 10. Auflage, Wien 1910, *S. 1070.*

Digitized by Google

Werden die Glieder höherer Ordnung vernachlässigt, so ergibt Taylors Satz:

$$(px_0 + ny_0 - na) + p\xi + n\eta + (y_0 - a)v = 0.$$

Nimmt man als Näherungswert für y

$$y_0 = 0$$

an, dividiert die ganze Gleichung durch a und setzt

$$\frac{p}{a} = p',$$

$$\frac{n}{a} = n'$$

und

$$\frac{1}{a}(px_0 - na) = p'x_0 - n = -l,$$

so ist endlich

$$v = -l + p'\xi + n'\eta.$$

Für jede Fahrarmeinstellung wird eine Fehlergleichung von der obigen Form erhalten. Im Wege einer Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen erhält man die Unbekannten ξ und η und damit die ausgeglichenen Werte der beiden Instrumentkonstanten.

In der folgenden Tabelle sind für 9 verschiedene Fahrarmeinstellungen (von $a_1 = 120$ bei einer Zunahme von je 10 Einheiten bis $a_9 = 200$) die Umfahrungszahlen n_1 bis n_9, die aus den Ergebnissen von je 6 kompensierten Umfahrungen eines Probekreises von 10000 mm² Flächeninhalt als Mittelwerte erhalten wurden und demgemäß als gleich genau zu gelten haben, zusammengestellt. Dabei wurden die Lagen des Poles jeweilig so gewählt, daß für die Stellung des Fahrstiftes im Mittelpunkt des mit der Probeschiene umfahrenen Kreises die Ebene des Spurkranzes der Meßrolle in ihrer Verlängerung beiläufig durch den Pol ging. Jede der Umfahrungen wurde dann jeweilig in einem der beiden beiläufig ermittelten Durchnittspunkte des Planimetergrundkreises und des umfahrenen Probekreises begonnen.

Nr.	a	n	Nr.	a	n
1	120	1670,0	6	170	1177,5
2	130	1541,2	7	180	1111,7
3	140	1430,8	8	190	1053,3
4	150	1335,2	9	200	1000,3
5	160	1251,4			

Für $F = 10000$ erhält man:

$$p = 1909859.$$

Wird ferner für r der Näherungswert, entsprechend dem Normalmaß von 60 mm für den Rollenumfang,

$$r_0 = 9{,}5 \text{ mm}$$

angenommen, so ist

$$x_0 = \frac{1}{9{,}5} = 0{,}105263;$$

demnach ist das in allen Fehlergleichungen wiederkehrende Produkt

$$px_0 = 201037{,}49.$$

Dividiert man diese Zahl durch die jeweilige Fahrarmlänge a und zieht von dem

Digitized by Google

Quotienten die zugehörige Umfahrungszahl n ab, so entsteht das Absolutglied — der Fehlergleichung. Die Koeffizienten

$$p' = \frac{p}{a}$$

von ξ sind 5-stellige Zahlen. Zur Vereinfachung der Zahlenrechnung setzt man

$$p' = \frac{p'}{1000} 1000\,\xi = \frac{p'}{1000}\xi',$$

wenn die neue Unbekannte

$$\xi' = 1000\,\xi$$

eingeführt wird.

Damit nehmen die Fehlergleichungen die nachstehenden Formen an:

$$\begin{aligned}
v_1 &= 5{,}332 + 15{,}915\,\xi' + 13{,}916\,\eta\\
v_2 &= 5{,}222 + 14{,}691\,\xi' + 11{,}855\,\eta\\
v_3 &= 5{,}152 + 13{,}641\,\xi' + 10{,}220\,\eta\\
v_4 &= 5{,}050 + 12{,}732\,\xi' + 8{,}901\,\eta\\
v_5 &= 5{,}104 + 11{,}936\,\xi' + 7{,}821\,\eta\\
v_6 &= 5{,}073 + 11{,}234\,\xi' + 6{,}926\,\eta\\
v_7 &= 5{,}175 + 10{,}610\,\xi' + 6{,}176\,\eta\\
v_8 &= 4{,}762 + 10{,}051\,\xi' + 5{,}544\,\eta\\
v_9 &= 4{,}887 + 9{,}549\,\xi' + 5{,}001\,\eta.
\end{aligned}$$

Es folgen die Normalgleichungen

$$\begin{array}{r}
1390{,}7424\,\xi' + 988{,}5362\,\eta + 563{,}4973 = 0\\
988{,}5362\,\xi' + 720{,}8988\,\eta + 391{,}5656 = 0\\
\hline
2379{,}2786\,\xi' + 1709{,}4350\,\eta + 955{,}0629 = 0\\
18{,}2502\,\eta - 8{,}9666 = 0\\
\hline
18{,}3461\,\eta - 8{,}9119 = 0.
\end{array}$$

Für die Unbekannten erhält man

$$\begin{aligned}
\eta &= +0{,}49361,\\
\xi' &= -0{,}75439 \quad \text{bzw.}\\
\xi &= -0{,}000754.
\end{aligned}$$

Ferner ist

$$\begin{aligned}
x &= x_0 + \xi = 0{,}104509\\
r &= \frac{1}{x} = 9{,}56855 \text{ mm.}\\
y &= y_0 + \eta = 0 + 0{,}49361, \text{ d. h.}\\
a_0 &= 0{,}49361.
\end{aligned}$$

Genauigkeit. Aus den Fehlergleichungen ergeben sich nach Einführung der Werte der Unbekannten die folgenden Verbesserungen:

$$\begin{aligned}
v_1 &= +0{,}163, & v_6 &= +0{,}001,\\
v_2 &= -0{,}037, & v_7 &= +0{,}205,\\
v_3 &= -0{,}118, & v_8 &= -0{,}096,\\
v_4 &= -0{,}182, & v_9 &= +0{,}140.\\
v_5 &= -0{,}058,
\end{aligned}$$

$$[vv] = 0{,}1492.$$

Die Rechenprobe ergibt: $[vv] = [ll] - \frac{[p'l]^2}{[p'p']} - \frac{[n'l\cdot 1]}{[n'n'\cdot 1]} = 0{,}1497.$

Digitized by Google

Der mittlere Fehler einer Beobachtung ist

$$\mu = \pm 0{,}146.$$

Aus den Gewichtsgleichungen ergeben sich die Gewichtsreziproken

$$Q_{11} = + 0{,}02840,$$
$$Q_{22} = + 0{,}05479.$$

Dann folgt aus

$$\mu_{\xi'}^2 = Q_{11}\,\mu^2$$
$$\mu_{\eta}^2 = Q_{22}\,\mu^2$$

zunächst $\mu_{\xi'} = \pm 0{,}0246$ und $\mu_{\xi} = \pm 0{,}0000246$.

Um von μ_{ξ} auf μ_r überzugehen, ist auf

$$r \pm \mu_r = \frac{1}{x_0 + \xi}$$

die Fehlerhäufungsregel anzuwenden. Demnach ist

$$\mu_r^2 = \frac{\xi^2}{x_0^4} \qquad \text{oder}$$

$$\mu_r = \pm 0{,}00222 \text{ mm}.$$

Ferner wird erhalten:

$$\mu_\eta = \pm 0{,}0342.$$

Demnach lauten die Ergebnisse:

$$r = 9{,}5686 \pm 0{,}0022 \text{ mm}$$

und

$$a_0 = 0{,}4936 \pm 0{,}0342 \text{ mm}.$$

Referate.

Ein Universal-Aktinometer.

Von Franz Linke, *Zeitschr. f. Techn. Physik* **5.** *S. 59. 1924.*

Das von Hartmann & Braun in Frankfurt a. M. gebaute Instrument soll folgende Forderungen erfüllen: Ablesegenauigkeit von 1‰, schnelle und sichere Bestimmbarkeit des Temperaturkoeffizienten, gesicherte Beziehungen zwischen Ausschlag und Strahlungsintensität, geringe Trägheit, leichte Bestimmbarkeit und Konstanz des Reduktionsfaktors.

Die Strahlung fällt durch ein mehrfaches Diaphragma auf einen geschwärzten Metallstreifen von 30 mm Länge und 3 mm Breite (Angabe der Dicke fehlt!), an dessen Rückseite eine Reihe von Thermoelementen derart angeordnet sind, daß „die Empfindlichkeit maximal, der Temperaturkoeffizient minimal" ist. Die zweiten Lötstellen der Thermoelemente liegen an einem, den Metallstreifen fast ganz umhüllenden, soliden Aluminiumkörper. Der letztere ist so sorgfältig gegen Wärmeverlust geschützt, daß sich nach kurzer Exposition konstante Temperaturdifferenz zwischen Lamelle und Aluminiumkörper ergibt. Diese auf einem Zeigervoltmeter höchster Empfindlichkeit in 0,001 ca pro qcm und min transformierte Temperaturdifferenz ist der eingestrahlten Energie proportional. Die Anordnung läßt eine einfache Bestimmung des Temperaturkoeffizienten zu, indem man das ganze Instrument auf verschiedene Temperaturen bringt und dabei die Metall-Lamelle durch einen bekannten Heizstrom erwärmt. Man erhält damit die Abhängigkeit des Voltmeter-Ausschlages A vom Quadrate der Stromstärke i. Da der Thermostrom nicht genau proportional der Temperaturdifferenz ist, wird A/i^2 mit wachsender Wärmezufuhr kleiner, ein Umstand, der in der Voltmeter-Teilung berücksichtigt wird.

Digitized by Google

Die Apparatkonstante selbst läßt sich auf absolutem Wege bestimmen, man zieht jedoch vor, das Instrument durch vergleichende Strahlungsmessungen mit dem Universal-Aktinometer oder dem Angströmschen Kompensationspyrheliometer an die *Smithsonian scala revised* 1913 anzuschließen. Bei der Messung der direkten Sonnenstrahlung gibt das Zeigervoltmeter nach ungefähr 40^s Exposition den Endwert mit 1$^0/_{00}$ Genauigkeit.

Will man die Strahlung des Himmels oder beliebiger Körper von niedriger Temperatur bestimmen, so sind verschiedene Vorkehrungen notwendig, so die Berücksichtigung der Ausstrahlung der Lamelle gemäß dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz, die Verfeinerung der Spannungsmessung durch Verwendung eines hochemfindlichen Spiegelgalvanometers und eine weitgehende Isolierung des ganzen Instrumentes gegen elektrostatische und thermische Einflüsse.

Für Untersuchungen in bestimmten Spektralbereichen sind drei Schottsche Filter rot, blau und ultraviolett beigegeben.

Das neue Aktinometer hat sich besonders bei einer Reise über den Atlantischen Ozean und in Argentinien, über deren Ergebnisse Linke in *Meteorolog. Zeitschr.* **41.** *S. 42. 1924* kurz berichtet, sehr gut bewährt. Zweck der Reise war u. a. die Messung der Gesamtstrahlung, der Rotstrahlung, der kurzwelligen Strahlung, der selektiven Absorption des Wasserdampfes und des Trübungsfaktors.

G.

New Types of Levelling Instruments, using reversible bubbles.

Von T. F. Connolly. *Transa. Opt. Soc. London, XXV. S. 21. 1923/24.*

Der Verf. untersucht die Eigenschaften von Wendelibellen (mit und ohne Einstellmarken oder Längenteilungen), die in einfachster Weise die Herstellung einer horizontalen Zielung gestatten und deshalb bei uns bekanntlich seit Jahren umfangreich für Nivelliere gebraucht werden. Er macht dann Anwendung von der Theorie solcher Libellen auf mehrere Arten von „*self adjusting*“ Nivellieren (es wäre vielleicht besser „*compensating*“ zu sagen) und zum Entwurf eines „ideal“ Nivelliers. Zum Schluß wird dann auch die Anwendung der Wendelibelle zur Berichtigung eines Kollimators gezeigt.

Als Achse einer Wendelibelle, die nicht notwendig mit Teilungen versehen zu sein braucht, (aber doch Kreisausschleifungen nur an zwei sich gegenüberliegenden Stellen haben wird und diese Stellen müssen doch bezeichnet werden) bezeichnet der Verf. eine Gerade, die mitten zwischen der obern und der untern Ausschleifung liegt und die Verbindungslinie der Mittelpunkte der zwei Ausschleifungsbögen senkrecht schneidet. Wenn auf der Libellenröhre Zeichen für die normale Lage der Blase angebracht sind und die Libellenblase bei der Drehung der ganzen Libelle um jene Achse ihre Lage gegen den Beobachter nicht ändert, so ist die Achse horizontal. Umfaßt die mechanische Längsdrehungsachse (Lagerringachse) ein optisches kollimiertes System, so sind bei dem angegebenen Verhalten der Libellenblase während der Drehung alle drei Achsen: Libellenachse, Drehungsachse und Ziellinie horizontal. Der Verf. sagt, daß ihm Instrumente, die das praktische Äquivalent dieser Eigenschaften voll ausnützen würden, nicht bekannt seien. Nur bei dem bemerkenswerten Zeissschen Nivellier sei dies versucht, die Herstellung horizontaler Ziellinie verlange aber hier das Mittel aus vier verschiednen Beobachtungen, womit allerdings das Ergebnis unabhängig werde von Unvollkommenheiten im Ablesesystem der Libelle und in dieser selbst. Die beiden geschliffenen Seiten der Zeissschen Libelle brauchen nicht dieselbe Empfindlichkeit zu haben aber sie müssen genau kreisförmig geschliffen sein.

Das Hauptbestreben des Verf. ist darauf gerichtet, das Zeisssche Nivellier zu vereinfachen, z. B. das besondere Objektiv dieses Instruments entbehrlich zu machen.. Er wünscht vor allem eine Libelle fabrikmäßig angefertigt zu sehen, die als „*high grade reversible bubble*“ bezeichnet werden könnte, etwa 5″ Empfindlichkeit pro 1 mm Teilungslänge hätte und sehr genau symmetrisch wäre (jedenfalls innerhalb 1″). Die Libelle müßte auch (im Gegensatz zur Zeissschen) symmetrische Striche für das Einspielen der Blase haben. Das ideale Nivellier „mit Selbstberichtigung“ hätte eine solche Libelle zu verwenden, die mit einer praktisch vollkommenen Zeissschen Prismeneinstellung der Blase zu verbinden wäre. Die genau horizontale Ziellinie ist dann allein von Einrichtungen des Instruments abhängig; man bedarf außerhalb des Instrument nur noch einen genügend scharfen Zielpunkt, mit dessen Hilfe das Fernrohr kollimiert werden kann.


Digitized by Google

Daß und wie man dann durch zwei Ablesungen an einer Latte, in Lage I und II des Fernrohrs bei jedesmal einspielender Blase der Wendelibelle, diese als richtig (mit zwei parallelen Achsen) vorausgesetzt, die der horizontalen Ziellinie entsprechende Ablesung erhält, ist ebenso bekannt, wie daß bei diesem Verfahren sogar die vollkommene Kollimation des Fernrohrs sowie genaue Berichtigung der Libelle entbehrlich sind; es kann also die Libelle mit dem Fernrohr fest verbunden werden. Solche Instrumente sind in Deutschland vielfach üblich geworden und der Verf. schreibt ihnen einen hohen Grad von Stabilität und Erhaltung der Justierung zu. Trotzdem sagt er mit Recht, daß man Einrichtungen zur Justierung nicht wird entbehren wollen (schon weil man nicht in jedem Fall mit Doppelablesungen arbeiten will); sie sollten aber sehr fest und wohlverwahrt angebracht werden.

Der zweite größere Teil der Abhandlung beschreibt dann die Einrichtungen einer ganzen Anzahl neuer Nivelliere, an deren Herstellung sich alle hervorragenden englischen Werkstätten für geodätische Instrumente beteiligt haben und die meist auch abgebildet werden. Die wichtigsten davon sind: ein von E. R. Watts für den Verf. gebautes Instrument für weniger genaue Einwägungen; ein ebenfalls Wattssches Instrument, das die für beide Seiten der Wendelibelle voneinander unabhängigen Einspielmarken verwendet und wobei die Libelle die Wattssche Einrichtung der von der Temperatur unabhängigen Blasenlänge hat. Der Verf. empfiehlt das Anbringen der Einspielstriche an den beiden Ausschleifungen der in Verbindung mit einem Zeissschen Prismenableser zu verwendenden Libelle als verschieden langer Striche. Als Entwurf eines Nivelliers neuer Art mit „Selbstberichtigung", das den höchsten Anforderungen an Genauigkeit gerecht werden kann, aber auch für weniger weitgehende Genauigkeiten gebaut wesden kann und in diesem zweiten Fall aus Elementen von der im Handel vorkommenden Feinheit zusammenzusetzen ist, führt der Verf. den folgenden auf: geschlossenes Fernrohr (konstante Länge) mit großer Objektivöffnung und innerer Fokussierlinse, ohne die Zeisssche „vertauschbare" Optik; Halbdrehung des Fernrohrs um eine mechanische (Lagerring-)Längsachse und Einrichtung einer Feinschraube zum feinen Kippen; Wendelibelle, auf einer Seite oder auf beiden Seiten mit Einstellstrichen, entweder mit konstanter Blasenlänge oder auch von der gewöhnlichen Einrichtung; Prismeneinrichtung mit beweglichen Prismen (Zeiss oder eine andere ähnliche Art) zum Einstellen der Blasenenden; endlich gewöhnlicher Dreifuß-Unterbau mit drei Stellschrauben (oder auch „*ball and socket*" System; dieses auch für große Instrumente?) mit besonderer Alhidadenlibelle zur raschen „allgemeinen" Horizontierung bei der Aufstellung des Instruments. Er legt einem nach diesem Programm gebauten Instrument „universellen Wert" bei. — Die weiteren vorgeführten besondern Ausführungen von Nivellieren sind, wie oben bemerkt, aus englischen Werkstätten hervorgegangen und alle speziell für den hier angezeigten Vortrag des Verfassers gebaut worden; und zwar wurden vier verschiedene Typen entwickelt, bei denen allen die zwei Seiten der Wendelibelle unabhängig voneinander graduiert sind und denen allen ein im India Store Department vorhandenes „Feinnivellier" zugrundliegt. Die Instrumente entstammen den Werkstätten von 1. W. Ottway and Co.; die Libellenblase wird durch einen Spiegel beobachtet, was wegen der Parallaxe für feine Messungen bekanntlich große Bedenken hat; 2. von Cooke, Troughton and Simms (bei der der Firma patentierten Spiegelablesung erscheint die Blase verkürzt, wodurch die Parallaxe stark vermindert wird); 3. von E. R. Watts and Son (konstante Länge der Libellenblase, so daß ein Indexstrich für das eine Ende genügt; die sonst übliche Dosenlibelle zur raschen groben Horizontierung des Instruments ist auf Anraten des Verfassers durch Kreuzlibellen ersetzt); 4. von W. F. Stanley and Co. (zwei Prismenablesungssysteme ähnlich dem Zeissschen für die Beobachtung der Blasenenden); 5. von E. R. Watts stammt das vom Verf. besonders angegebene und empfohlene, ihm auch patentierte Instrument (s. oben) mit Anwendung eines Zeissschen Prismensystems zur Libelleneinstellung an einem „Standard India Store Department"-Nivellier. Daß die Beobachtung der Libelle mit Zusammenlegung der Blasenenden durch ein Prismensystem die beste Art des Libelleneinspielens vorstellt, ist sicher, schon weil sie die Parallaxe und ebenso den persönlichen Fehler eliminiert. Der Verf. schätzt die Genauigkeit dieser von Wild angegebenen Zusammenlegung der Blasenenden durch das Prismensystem 3 bis 4 mal so groß als die Einstellung der Blase einer Libelle von gleicher Empfindlichkeit, die auf dem sonst üblichen Weg nur am einen


Digitized by Google

Ende beobachtet wird. Es genügen so beim Einspielen mit dem Prismensystem Libellen von geringerer Empfindlichkeit, wenn sie nur gut geschliffen sind.

In einem Anhang untersucht der Verf. noch die Temperaturgrenzen, die der Anwendung der gewöhnlichen Wildschen Prismen-Libelleneinspielung gezogen sind; er findet als solche 140° und 13° Fahr. (= 60° bis rund — 10° C), womit also eine in der Diskussion des Vortrags gestellte Frage beantwortet ist. In dieser Diskussion ist auch die Möglichkeit erörtert worden, Indexstriche oder ganze Teilungen auf der Innenseite des Libellenrohrs (natürlich nicht durch Ätzen oder Einritzen der Striche, sondern auf anderem Weg) anzubringen, statt auf der Außenseite des Glases. Daß damit die Parallaxe bei Beobachtung des Blasenendes so gut wie weggeschafft wäre, ist klar; ob aber die Sache ohne Gefahr für die Bewegung der Libellenblase gelingen wird?

Über Wert und Nutzen der vielfach bemerkenswerten neuen Vorschläge für den Bau von Nivellieren, über die hier berichtet ist, wird sich ein Urteil erst gewinnen lassen, wenn praktische Erfahrungen über den Gebrauch dieser Instrumente in Beziehung auf Menge und Güte (Genauigkeit) der Leistungen im Vergleich mit andern Instrumenten vorliegen werden. *Hammer.*

A new form of balloon theodolite.

Von T. F. Connolly. *Transact. Opt. Soc. London XXIV. p. 326. 1922/23.*

Der Verf. beschreibt einen nach seinen Angaben für den Indischen Meteorolog. Dienst gebauten Theodolit zur Verfolgung treibender Ballons durch Horizontal- und Höhenwinkel; an Stelle der bisher angewandten Instrumente mit Nonien- oder sonstiger Mikrometerablesung sol nur durch Schätzung auf $^1/_{10}{}^0$ genau abgelesen werden. Es sollen regelmäßig zwei Beobachter zusammenarbeiten, einer ständig am Fernrohr (das deshalb ohne Anstand gebrochen sein kann für sehr große Höhenwinkel), der zweite bei Ablesung der Kreise und der Uhr. Die zwei Kreise haben je 5 Zoll ($12^1/_2$ cm) Durchmesser, sind nur in ganze Grade zerlegt und werden an einem Indexstrich auf $^1/_{10}{}^0$ abgelesen. Bemerkenswert ist, daß die zwei Kreise an der Ablesestelle derart zusammengerückt sind, daß ein und derselbe Index für beide dient. Der Verf. schlägt vor, diese Ablesungsart der einen Ablesemarke oder des einen Ablesemikroskops (z. B. Strichmikroskop auf 1′) auch für sonstige kleine Universale mit gebrochenem Fernrohr (wegen vorkommender sehr großer Höhenwinkel), Grubentheodolite, Universale für Gebirgsmessungen oder geodätisch-„astronomische“ Universale für Forschungsreisen, bei 4zölligen (10 cm) Kreisen zu versuchen. Er wünscht diese Anordnung, die an seinem Instrument von Cooke, Troughton und Simms durchgeführt wurde, als I.S.D.-Ablesung bezeichnet zu sehen (India Store Department, wo er Inspector of scientific supplies ist). Daß man die Zentrierungen der Kreise leicht so genau machen kann, daß auch für 1′-Ablesung der Exzentrizitätsfehler keine Rolle spielt (— haben wir doch Sextanten, bei denen also der Exzentrizitätsfehler gar nicht durch die bei vollen Kreisen vorhandene Möglichkeit der Ablesung gegenüberstehender Nonien eliminiert werden kann und die bei 10″ Ablesung immer noch genügend Gewähr gegen einen merklichen Fehler dieser Art bieten —), hätte wohl auch ohne die Diskussion des Vortrags des Verf. bekannt sein können.

Der Verf. bemerkt zum Schluß, er habe erst durch Major Henrici erfahren, daß in *dieser Zeitschr.* (*41. S. 181. 1921*) ein „einigermaßen ähnliches Instrument“ beschrieben worden sei: es ist der von Bamberg nach den Angaben von Fuß gebaute Theodolit mit photographischer Registrierung der Kreisablesungen. Die Ähnlichkeit beschränkt sich jedoch darauf, daß bei diesem Instrument die zwei Photographien der kleinen für eine bestimmte Ablesung an beiden Kreisen in Betracht kommenden Stücke dieser Kreisteilungen nebst Nonien auf dem Filmstreifen derselben Kammer unmittelbar übereinander erscheinen; im übrigen sind wesentliche Unterschiede da, die Ablesung geht bei Fuß-Bamberg auf 1′ am Grund- und am Höhenkreis, und das Instrument ist also für genauere Winkelmessungen bestimmt, die sich zudem sehr rasch folgen müssen, weil der Gegenstand, dessen Bahn mit guter Genauigkeit festzustellen ist, sich mit großer Geschwindigkeit bewegt (Flugzeug). *Hammer.*

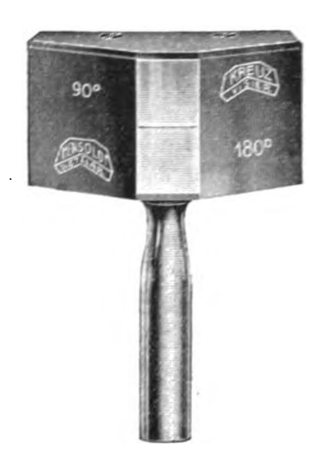
Neues „Kreuzvisier“ von Hensoldt.

Nach dem Instrument.

Das in *dieser Zeitschr. 41. S. 190. 1921* erwähnte Rechtwinkelinstrumentchen der Wetzlarer Optischen Werke M. Hensoldt & Söhne wird neuerdings nicht mehr angefertigt, ist vielmehr


Digitized by Google

unter demselben Namen ersetzt durch ein anderes Prismenkreuz, das ebenso einfach gebaut und von manchen Mängeln des ersten befreit ist; es sind zwei Wollaston-Prismen (vierseitig, Kantenwinkel 90° und gegenüber 135°, dazu zweimal $67\frac{1}{2}°$) übereinander gesetzt. Das Wollaston-Prisma bedarf ebensowenig wie die früher angewandten Prismen einer mit Spiegelbelag versehenen Fläche, was den meisten der sonstigen Prismeninstrumente für die Feldwinkel 90° und 180° gegenüber ein großer Vorteil ist. Die Ansicht des Instrumentchens von der Einsichtsfläche aus ist die der beistehenden Figur; das obere der beiden Prismen lenkt den von vorn eintretenden Strahl um 90° nach rechts, das untere denselben Strahl um 90° nach links ab. Man ist so gleichzeitig und bei derselben Einsicht für flache und für rechte Winkel ausgerüstet. Auch sind die zwei Prismen so genau und sicher in dem Gehäuse befestigt, daß eine Richtschraube zu kleinen Verdrehungen des einen Prismas gegen das andere wegfallen konnte. Das Gesichtsfeld ist groß und bleibt auch groß, wenn das Auge nicht dicht an die an beiden Prismen übereinstimmende Einsichtsebene herangebracht wird. Die Bilder sind, da der Strahl nur Reflexionen, keine Brechung erleidet, hell und scharf. Auch habe ich bereits an einer ganzen Anzahl von Stücken des neuen „Kreuzvisiers" bestätigt gefunden, daß die gegenseitige Lage der zwei Prismen nicht nur von Haus aus völlig genügend richtig ist (Genauigkeit eines rechten und eines flachen Winkels je etwa 1',5 m. F.), sondern auch durch das einfache Auseinandernehmen und Wiederzusammensetzen keine merkliche Verschiebung erleidet, so daß in der Tat eine Richtschraube entbehrlich ist.



Das neue Gerät stellt deshalb eine willkommene Vervollständigung des Werkzeugs der Niedern Geodäsie vor und sei, auch wegen des mäßigen Preises von 17 G.-M., bestens empfohlen.

Hammer.

Die Bestimmung der Höhe von Flugzeugen.

Von W. G. Brombacher, *Journ. of the Opt. Soc. of Amer.* 7. *S. 719—774. 1923.*

Verfasser geht genauer auf die Verfahren ein, die Höhe eines Flugzeuges über dem Boden durch einfache Luftdruck- und Temperaturmessungen zu bestimmen, zu denen gegebenenfalls noch Feuchtigkeitsmessungen kommen. Er schlägt vor, für den praktischen Gebrauch die Höhe aus der Formel:

$$h = 62900 \log \frac{P_0}{P}\left(1 + \frac{t_m - 10}{283}\right) \text{ in engl. Fuß bzw.}$$

$$= 1917{,}25 \log \frac{P_0}{P}\left(1 + \frac{t_m - 10}{283}\right) \text{ in Metern}$$

zu berechnen (P_0 und P Barometerstand am Boden und in der betr. Höhe, t_m Mitteltemperatur der Luftsäule). Es werden auch die Korrektionen wegen des Feuchtigkeitseinflusses und der Änderung der Schwerkraft abgeleitet, die aber praktisch ohne erhebliche Bedeutung sind.

Den Schluß der Arbeit bilden ausführliche Tafeln über die Beziehungen zwischen Höhe, Luftdruck, Temperatur, Dampfdruck und Luftdichte in verschiedenen Gegenden und zu verschiedenen Jahreszeiten, Tafeln zur Eichung von Höhenmessern, und die von verschiedenen Staaten eingeführten Normaltafeln für das Flugwesen.

Block.

Pendelhärteprüfer.

Von Ed. G. Herbert. *Engineer 1923. S. 390. Werkstattstechnik 1924. S. 35; Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ing.* **67.** *S. 864. 1923.*

Das Meßgerät arbeitet in der Art der Brinell-Härteprüfung, und besteht aus einem ∩-förmigen Metallstück von 2 bzw. 4 kg Gewicht, bei dem in der Mitte des Bogens nach innen zu eine Rubin- oder Stahlkugel von 1 mm Durchmesser angebracht ist, um die es als Pendel, wenn es mit der Kugel auf die zu untersuchende Fläche aufgesetzt ist, schwingen kann. Zur Aufnahme von kleineren Proben dient ein Schraubstock nach Art eines Universalgelenks, größere Stücke

Digitized by Google

müssen entsprechend hergerichtet und horizontal gestellt werden. Durch verschiebbare Gewichte wird der Pendelhärteprüfer in nahezu indifferentes Gleichgewicht gebracht.

Man kann damit die bekannte Kugeldruck-Härteprüfung ausführen, entsprechend einer 10 mm-Kugel bei 400 kg Belastung, daneben noch folgende Prüfungen: Der Apparat wird so weit seitlich gedreht, bis eine eingebaute Libelle auf 0 einspielt, losgelassen, und beobachtet, wie weit die Libelle dann zurückgeht, wenn sich die Kugel auf dem Werkstoff abwälzt. Das gibt eine Bearbeitungshärtezahl. Oder man läßt den Apparat pendeln und beobachtet an einer Stoppuhr die Dauer von 10 Schwingungen. Endlich hat man die Möglichkeit, durch Veränderung der Pendellänge die Unterschiede zwischen zwei nahezu gleich harten Stoffen deutlicher sichtbar zu machen. *Block.*

The measurement of true height by aneroid.

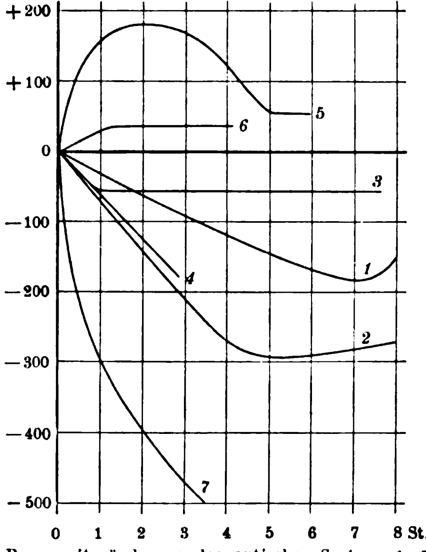
Von L. N. G. Filon. *Journ. of scientific Instr. I. S. 1. 1923.*

Im Anschluß an die bekannten Annahmen über die Temperaturverteilung in der Atmosphäre wird gezeigt, daß man mit ausreichender Annäherung die Skala eines Aneroids sich so ausbilden läßt, daß man an ihr die wahre Höhe eines Flugzeugs praktisch ohne Rechnung ablesen kann. Die Skala ist in der bekannten Spiralform ausgeführt und trägt eine Höhen- und eine Temperaturteilung. Sodann ist noch eine von außen einstellbare „Grundmarke" angebracht, die beim Abflug eingestellt wird, nach der Aneroidangabe dieser Zeit. Eine einfache Überlegung zeigt, wie man weiter verfahren kann, so daß man diese Marke auf eine runde Zahl einstellen kann, zur Vereinfachung der Rechnung. Diese Zahl ist dann von jede Höhenlesung abzuziehen. Eine Weiterführung der Überlegungen führt dann dazu, daß die eigentliche Skala keine Bezifferung erhält, sondern mit einer Reihe von Löchern ausgeführt wird. Unterhalb dieser Skala, konzentrisch mit ihr, ist eine zweite Skala nur mit Ziffern versehen angebracht, von außen drehbar, die vor Beginn des Fluges eingestellt wird und so die Bezifferung der Hauptskala liefert. *Block.*

Änderungen in der Brennweite von Spiegeln.

Von Edison Pettit, *Astroph. Journ. 58. S. 208—214. 1923.*

Verschiedene Spiegel der nachstehenden astronomischen Instrumente wurden im Wilson-Observatorium am Zölostaten des 150 Fuß-Turmes, des 60 Fuß-Turmes und des Snow-Horizontal-Teleskops der unmittelbaren Sonnenstrahlung ausgesetzt und an verschiedenen, meteorologisch etwa gleichen Tagen, im September und Oktober, den günstigsten Beobachtungszeiten des Observatoriums, auf Änderungen ihrer Brennweite untersucht. Es handelt sich um folgende Spiegel: 1. Zölostat-Spiegel, 20 Zoll Durchmesser, und fester Spiegel, 16 Zoll Durchm., beide aus Kronglas, 12 Zoll stark, mit Flüssigkeitskühlung, des 150 Fuß-Turmteleskops. Eine 12 Zoll-Linse von 150 Fuß Brennweite entwirft das Bild. 2. Das gleiche System ohne Flüssigkeitskühlung. 3. Das gleiche System nach Ersatz des Kronglasspiegels durch Spiegel aus Pyrexglas, 12 Zoll Durchm., 2 Zoll Dicke, ohne Kühlung. 4. Kronglas-Zölostatspiegel, 17 Zoll Durchm., fester elliptischer Spiegel 13×22 Zoll, beide 12 Zoll dick, des 60 Fuß-Turmteleskops; eine 12 Zoll-Linse von 60 Fuß Brennweite entwirft das Bild. 5. Zölostatspiegel aus Kronglas, 30 Zoll Durchm. und fester Spiegel von 24 Zoll, beide 4 Zoll dick. Ein Konkavspiegel von 24 Zoll Durchm., 4 Zoll dick, 60 Fuß Brennweite, entwirft das Bild. 6. Das gleiche System mit Spiegelmetall-Spiegeln, 10 Zoll Durchm. und $1^1/_2$ Zoll dick, an Stelle der Glasspiegel; ein Konkavspiegel von 6 Zoll Durchm. und $1^1/_2$ Zoll



Brennweitenänderung der optischen Systeme 1—7. Ordinaten: Änderungen der Brennweite in cm (+ bedeutet Verlängerung der Brennweite, Abszissen: Belichtungszeit durch die Sonne in Stunden). Alle Zahlen sind auf 150 Fuß Brennweite umgerechnet.

Digitized by Google

dick zur Bilderzeugung, bei 60 Fuß Brennweite. 7. Spiegel, 12 Zoll Durchm., 1 Zoll dick, aus Kronglas für das 150 Fuß-Turm- und Snow-Teleskop (s. vorstehende Figur).

Spiegelmetall- und Pyrexglasspiegel verhielten sich am günstigsten. Der Einfluß von Wind ist derart, daß er die Veränderungen verkleinert, sogar ihr Vorzeichen umkehrt. Alle Spiegel, mit Ausnahme der Kronglasspiegel des Snow--Teleskop-Zölostaten und der Spiegelmetall-Spiegel werden konkav. Die optischen Verhältnisse am 60 Fuß-Turm ergaben sich als wesentlich günstiger als die am Snow-Horizontal-Teleskop. *Block.*

Der Lippichsche dunkle Streifen und die Genauigkeit der polarimetrischen Einstellungen.

Von G. Bruhat und M. Hanot, *Journ. de Phys. et le Radium* **3.** *S. 46. 1922.*

Nicolsche Prismen gewöhnlicher Konstruktion (mit schrägen Endflächen) geben in gekreuzter Stellung bei hinreichend großem Gesichtsfelde die Erscheinung des schwarzen Streifens, dessen Ränder allmählich heller werden. Seine Lage, Schärfe und Beweglichkeit bezüglich der Abhängigkeit von den Polarisatoren und der Art ihrer Anordnung hat schon Lippich in einer langen Abhandlung *(Sitzungsber. d. Wiener Akad.* **85.** *S. 268. 1882)* näher untersucht. Die Berechnungen Lippichs in dieser und den darauf folgenden Abhandlungen über die Lage der Polarisationsebenen in den einzelnen Punkten des Gesichtsfeldes eines Polarisationsprismas sowie über die Helligkeitsverhältnisse sind ja grundlegend für die Entwickelung der polarimetrischen Methoden geworden. Mit aller, den wirklichen Verhältnissen gerecht werdender Strenge ist das Problem neuerdings von Berek gelöst worden (vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* **40.** *S. 101. 1920).*

Im ersten Teil ihrer Arbeit bestätigen die Verf. im wesentlichen nur die Resultate Lippichs im zweiten Teil untersuchen sie den Einfluß des dunklen Streifens auf die Drehungsbestimmungen in Halbschattenapparaten nach Cornu-Jellet, Laurent u. a. Als Resultat ergibt sich, wie nicht anders zu erwarten war, daß die gewöhnlichen Nicolschen Prismen systematische Fehler veranlassen, welche viel größer als die zufälligen Beobachtungsfehler sind. Die Verf. gelangen daher zu dem Schluß, daß man für genaue Messungen unbedingt Prismen mit normalem Gesichtsfelde wählen muß.

Danach wird aber schon seit Jahrzehnten in der Polarimetrie verfahren. Das normalpolarisierte Gesichtsfeld, bei dem die Polarisationsrichtungen in allen Punkten des Gesichtsfeldes einander sehr nahe parallel sein sollen, wird nach Lippich durch ein Prisma verwirklicht, dessen Austrittsfläche senkrecht zur Längsachse und bei dem die optische Achse des Kalkspats in der Austrittsfläche liegt, ein Polarisationsprisma also, bei welchem die optische Achse normal steht zur Richtung der durchgehenden Strahlenbündel. Dies ist z. B. der Fall bei dem zumeist benutzten Glan-Thompsonschen Prisma mit geraden Endflächen. *Schck.*

Über die Messung der Kapazität eines Elektrometers.

Von Hermann, *Prakt. Schulphys.* **3.** *S. 42. 1923.*

Die Kapazitätsveränderlichkeit von Elektrometern.

Von Hermann, *Physikal. Zeitschr.* **33.** *S. 386. 1922.*

Anläßlich der Aufgabe, mit heutiger Beschränkung der Hilfsmittel Elektrometerkapazitäten im Unterricht zu bestimmen und den dabei denkbaren, teilweise nicht genügend bekannten Fehlerquellen auszuweichen, entstanden obige Studien nebst den in *dieser Zeitschr.* veröffentlichten über Erstausschlagsbeobachtung (**23.** *S. 274*) und Kleine Kapazitätsnormale (**24.** *S. 13*). Die Kapazitätsmessung bestand in Ladungsteilungen unter Anwendung eines Influenzausgleichs; dabei diente als Kapazitätsnormal erst die Kugel, bei welcher der Influenzeinfluß sehr groß und darum sein Ausgleich unsicher gefunden wurde, hieraufein langer, auf hoher Glassäule liegender Draht.

Die Kapazitätsveränderlichkeit wird zurückgeführt auf die beim Ausschlagen der beweglichen Teile im Instrument aufgespeicherte mechanische Energie, welche sich zur elektrischen in Beziehung bringen läßt, wenn Ausschlagsgleichungen vorliegen. Benutzt werden die Gleichungen von Noack für das Blättchenelektrometer, die des Verf. für das Braunsche, die des Erfinders für das Binantelektrometer. Bei den beiden ersten beträgt die Veränderlichkeit etwa 1%; beim diostatischen Binant 50%. Beim heterostatischen ist die Kapazität vom Nadelausschlag unab-


Digitized by Google

hängig, dagegen abhängig von der Hilfsspannung. Letzterer Satz erfordert eine Einschränkung. Er gilt nämlich nur bei symmetrischer Schaltung und Ruhelage. Beweis: Schematisch besteht das Binantelektrometer aus zwei leitenden Kreisflächen mit je einem isolierenden Durchmesser. Bei symmetrischer Schaltung sind die Gesamtladungen beider Kreise je gleich Null. Werden die Durchmesser unter rechtem Winkel gekreuzt, ein Kreis (beide Halbkreise desselben) geerdet, die andern beiden Halbkreise mit entgegengesetzten Halbladungen $\pm \frac{L}{2}$ versehen, so entstehen entgegengesetzt gleiche Potentiale $\pm \frac{V}{2} = \pm \frac{L}{2K_0}$. Hieran ändert sich nichts, wenn man nun die bisher geerdeten Halbkreise mit den entgegengesetzt gleichen Hilfsspannungen $\pm \frac{\mathfrak{V}}{2}$ versieht; ihre Wirkungen heben sich auf, solange der rechte Winkel zwischen den Durchmessern bleibt, also die Nadel in Ruhelage festgehalten wird, wie es für die Energiebetrachtung eingangs vorauszusetzen ist. Jedoch ist die Energie der beiden Halbladungen zusammen nur $2\int_0^{V/2} K_0 V\,dV = \frac{1}{4} K_0 V^2$, somit $\Delta K = 4 V^2 \Delta W$, doppelt soviel als a. a. O. berechnet wurde (26% der Voltquadratdifferenzen der Hilfsspannungen statt 13%). Schon bei anderer Wahl der Ruhelage hört die Gültigkeit des Satzes auf. Ist w ein anderer Durchmesserwinkel, gemessen in Vielfachen des rechten Winkels, so ist die Kapazität beim Festhalten dieses Winkels annähernd $K_0' = \frac{L}{V + (w-1)\mathfrak{V}} = \frac{K_0 V}{V + (w-1)\mathfrak{V}}$, wodurch der Energieausdruck zu einer verwickelten Funktion von V wird.

In der letzten Formel der Abhandlung (K aus wiederholter Ladungsteilung) ist V_n durch V_{n+1} zu ersetzen. *Hermann.*

Bücherbesprechungen.

J. P. C. Southall, *Mirrors, prisms and lenses. A textbook of geometrical optics.* 8⁰. XIX, 657 S. 287 Textfiguren. *Enlarg. and revis. ed. New-York,* Macmillan Comp. 1923 (1. Aufl. ebenda 1918).

Das Buch ist aus regelmäßigen, für Brillenoptiker[1]) gehaltenen Vorlesungen an der Columbia-Universität entstanden und als Lehrbuch für Studierende bestimmt. Dem entspricht Auswahl und Darstellung des Stoffes; doch hat das Werk manches Eigentümliche.

Zunächst ist schon bei den einfachsten Fällen die Strahlenbegrenzung berücksichtigt, das Gesichtsfeld eines Fensters, eines ebenen Spiegels, einer dünnen Linse bestimmt; ein besonderes Kapitel, das zwölfte, dient dann der zusammenfassenden Besprechung dieser Fragen.

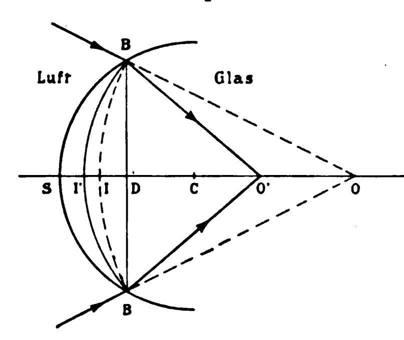
Bei der Beziehung zwischen Ding- und Bildort (Kap. VI) wird ausführlich darauf eingegangen, daß das Doppelverhältnis (Kugelmittelpunkt, Scheitel, Dingpunkt, Bildpunkt) gleich dem relativen Brechungsverhältnis ist. (Diese von Huygens herrührende Beziehung ist 1855 von Möbius zu einer eigentümlichen Fassung des Brechungsgesetzes, von ihm und neuerdings von Böger zur synthetischen Darstellung der optischen Abbildung benutzt worden. Auch Southall hat in seinem größeren Werke [*The principles and methods of geometrical optics*, New-York 1910; s. *diese Zeitschrift* ***31.*** *168—70. 1911*] die synthetische Geometrie zur Darstellung der Abbildung durch achsennahe Strahlen verwandt).

Schon im einleitenden Kapitel ist die Huygensische Zeichnung der Wellenfläche angegeben, sie ist dann zum Beweise des Lehrsatzes von Malus und in einem besonderen Kapitel, dem achten, für die (vorher anders abgeleitete) Beziehung von Ding- und Bildpunkt benutzt worden. Da diese Darstellung in Deutschland wenig üblich ist, soll sie hier (Abb. 1) für eine brechende Kugelfläche gegeben werden (Southall § 101). — Es sei O der (virtuelle) Dingpunkt, O' der Bildpunkt, BSB die brechende Fläche. Ohne diese hätte die Wellenfläche zum Durchschnitt mit

[1]) Siehe *Centralztg. f. Opt. u. Mechan.* ***44.*** *S. 173. 1923.*

Digitized by Google

der Zeichenebene die punktierte Kreislinie BIB mit dem Mittelpunkt O. Infolge der Brechung schneidet die Wellenfläche durch BB die Achse in I', so daß sich der optische Lichtweg nicht ändert (da B und B ungeändert sind), also $n' SI' = n SI$ oder $n' (SD - I'D) = n (SD - ID)$, wo D der Fußpunkt des Lotes BDB ist.



Nun kann man für achsennahe Strahlen $BI'B$ als Kreisbogen mit dem Mittelpunkt O' auffassen, und da sich die Pfeilhöhen kleiner Kreisbögen von gleicher Sehne umgekehrt verhalten wie die Halbmesser, so wird mit erlaubten Vernachlässigungen:

$$n' (1/SC - 1/SO') = n (1/SC - 1/SO)$$

oder mit der in Deutschland üblichsten Bezeichnung

$$n' (1/r - 1/s') = n (1/r - 1/s). \text{ —}$$

Dem Zwecke des Buches entsprechend sind die Grundlagen und die Abbildung durch achsennahe Strahlen — bei ebenen und gekrümmten Spiegeln, dünnen und dicken Linsen und Linsenfolgen — ausführlich behandelt, ein Kapitel ist den astigmatischen (hauptsächlich den zylindrischen und torischen) Linsen, eins dem Auge und der Vergrößerung durch optische Werkzeuge gewidmet. Auf Einzelheiten der optischen Instrumente ist nicht eingegangen worden.

Die Farbenabweichungen und die sphärischen Abweichungen sind natürlich verhältnismäßig kurz in zwei Kapiteln (XIV, XV) behandelt. Doch ist die Durchrechnung eines Strahles gegeben, die fünf Seidelschen Fehler nebst den Summenformeln sind angegeben, und der Astigmatismus schiefer Bündel ist etwas ausführlicher besprochen. In einer der Aufgaben am Schlusse des XV. Kapitels kommen die Tscherningschen Formeln für die Punktalgläser vor.

Die zweite Auflage ist um ein Anhangskapitel vermehrt, das mehrere erwähnenswerte Ergänzungen enthält.

In § 203 sind eine Anzahl von Formeln für die Zusammensetzung brechender Flächen, z. T. nach C. W. Woodsworth und T. T. Smith, gegeben. § 204 enthält ein weiteres Verfahren für die Durchrechnung. Ausführlich werden Reflexionsprismen behandelt. Hauptsächlich aber sind geschichtliche Angaben hinzugefügt, wobei besonders die Bemerkung von Wert ist, daß die sogenannte Youngsche Zeichnung des gebrochenen Strahls schon auf einer Figur bei Huygens vorkommt.

Durch das ganze Buch ziehen sich übrigens geschichtliche Bemerkungen; es muß indessen hier auf einige Versehen hingewiesen werden. Porta ist nicht der Erfinder der Lochkammer (§ 3 u. 194) s. L. Mauthner [Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges. Wien, 1876. 858—63]. Malus hat den nach ihm benannten Satz 1808 (§ 39) nur für einen Sonderfall ausgesprochen. Wegen der Grundpunkte von Linsenfolgen verweist der Berichtende auf seine Abhandlung (*Zeitschr. f. ophth. Opt.* **6.** *S. 161—170, 1921*) und die dort aufgeführten Arbeiten.

Bei der Beschränkung in den mathematischen Hilfsmitteln ist es dem Verfasser nicht immer möglich gewesen, die genaue Form eines Satzes anzugeben. Bedenklich ist es aber, dann eine tatsächlich nicht ganz richtige mitzuteilen, wie beim Fermatschen Satze (§ 38). — Daß bei der Brechung an einer allgemeinen Fläche zweimal (§ 111 u. 113) gesagt wird, Strahlen in einem Normalschnitt, der kein Hauptschnitt ist, schnitten den Hauptstrahl zwischen den beiden astigmatischen Bildpunkten, scheint ein Flüchtigkeitsfehler zu sein, beim Astigmatismus schiefer Bündel findet sich die richtige Angabe. — Beim Sturmschen Konoid wird mit Recht auf die Gullstrandschen Untersuchungen verwiesen. Anerkennung verdient die sorgsame Unterscheidung zwischen Bündel (*bundle*) und Büschel (*pencil*), die leider noch nicht von allen optischen Schriftstellern durchgeführt wird.

Die Aufgaben am Schlusse jedes Kapitels werden den Lernenden von Nutzen sein; sie sind eine Zugabe, die man für jedes Buch gleichen Zweckes empfehlen kann. *H. Boegehold.*

Polarimetrie. *Circular No. 44 of the Bureau of Standards.* Zweite Auflage. 196 S. m. 38 Tabellen u. 16 Fig. Washington, Government Printing Office 1918.

Die erste Auflage war 1914 erschienen, die neue ist erst 1923 bei der Schriftleitung dieser

Digitized by Google

Zeitschr. eingegangen. Das Heft enthält eine Zusammenstellung der in der Polarimetrie und Saccharimetrie meist benutzten Methoden und Apparate zur Bestimmung des optischen Drehungsvermögens, unter besonderer Berücksichtigung alles dessen, was der Zuckerchemiker behufs Erzielung genauer Zuckeranalysen zu beachten hat. So werden des näheren besprochen Kreisapparate, Quarzkeil-Saccharimeter, Beleuchtungslampen, Einfluß der Temperatur, Flüssigkeitsröhren, Deckplatten, Meßkolben, Thermometer, Gewichte, Untersuchung von Rohzuckern, spezifisches Gewicht, Zuckerrefraktometer (sehr unvollkommen dargestellt!), Herstellung reiner Zuckersorten, wobei die aus dem *Bureau of Standards* hervorgegangenen Arbeiten ausnahmslos eine besonders ausführliche Erwähnung finden. Recht nützlich ist die Zusammenstellung aller der Beschlüsse, welche die Internationale Kommission für einheitliche Methoden der Zuckeruntersuchung auf ihren sieben Versammlungen von 1897 bis 1912 gefaßt hat. Auch die Prüfungsgebühren, welche das *Bureau of Standards* für den Bereich der Zuckeruntersuchungen festgesetzt hat, sind in dem Hefte verzeichnet. *Schck.*

Dr.-Ing. K. Hoerner, Grundzüge der Starkstromtechnik. Für Unterricht und Praxis. 8°. Berlin 1923, Julius Springer. V, 257 S., 319 Textabbildungen. 4 Goldmark; geb. 5 Goldmark/0,95 Dollar; geb. 1,20 Dollar.

Der Verfasser sucht die Grundlagen der Starkstromtechnik auch für den noch nicht Vorgebildeten, für den das Buch in erster Linie gedacht ist, leicht verständlich darzustellen. Dies erreicht er besonders durch Vergleiche aus dem Gebiet der Mechanik, in denen sehr geschickt das Wesentliche hervorgehoben wird. Einige kleine Unklarheiten lassen sich wohl in der nächsten Auflage beseitigen. Bei der Besprechung des Spannungsmessers z. B. schreibt der Verfasser, daß der Ausschlag eines Stromzeigers, wenn ihm ein hoher Widerstand vorgeschaltet wird, nicht nur vom Strom, sondern auch von der Spannung an den Klemmen der Anordnung abhänge. Tatsächlich hängt er nur vom Strom ab, aber dieser selbst ist abhängig von der dem System aufgedrückten Spannung. Ferner ist zwischen den Feld- und den Induktionslinien im elektromagnetischen Felde kein deutlicher Unterschied gemacht; der Beweis auf S. 53, daß diese Linien in sich geschlossen seien, ist nicht zwingend. Diese und ähnliche Schönheitsfehler fallen aber bei dem übrigen wertvollen Inhalt kaum ins Gewicht. Papier und Druck sind, wie das beim Verlag Springer zu erwarten war, wieder völlig friedensmäßig.

Das Buch ist allen, die sich ohne große theoretische Vorkenntnisse über Fragen der Starkstromtechnik unterrichten wollen, nur zu empfehlen. *Sr.*

Konrad Gruhn, Elektrotechnische Meßinstrumente. Ein Leitfaden. 2. vermehrte und verbesserte Aufl., 8°. Berlin 1923, Julius Springer. IV, 223 S. mit 321 Textabbildungen. Geb. 7 Goldmark/geb. 1.70 Dollar.

Die in der Besprechung der ersten Auflage des Buches (*diese Zeitschr.* ***40.*** *S. 172. 1920*) gewürdigten Vorzüge desselben können ohne Einschränkung auf die zweite Auflage übertragen werden. Neu hinzugekommen sind im wesentlichen der Drehfeldrichtungsanzeiger und die Druck-Fernmessung; ferner sind die Abschnitte über elektrostatische Instrumente sowie über elektrodynamische Leistungsmesser erweitert worden. Neu sind ferner einige recht gute Abbildungen des grundsätzlichen Aufbaues einiger Instrumente. Obwohl in einem so engen Rahmen natürlich nur die Prinzipien der Instrumente, nicht aber die ungeheure Mannigfaltigkeit der Ausführungsformen zur Darstellung kommen können, so erwartet der physikalisch orientierte Leser doch eine etwas breitere Darstellung der Galvanometer, mit Berücksichtigung der ballistischen Instrumente, die ja auch in der elektrotechnischen Praxis vielfach Verwendung finden. Auch das in der Hochfrequenztechnik oft angewandte Thermogalvanometer hätte Erwähnung finden können. Ferner wäre eine ausführlichere Behandlung der mehr und mehr in Aufnahme kommenden Vibrationsgalvanometer erwünscht gewesen. Für eine spätere Auflage wäre ferner die Aufnahme des Röhrengalvanometers, des Schleifengalvanometers sowie des neuen praktischen Drehfeldrichtungszeigers nach Schmidt zu empfehlen.

Die Darstellung ist, abgesehen von einzelnen Unsicherheiten im Ausdruck, die vielfach offenbar auf spätere Korrekturen zurückzuführen sind, klar und leicht faßlich. Bezeichnungen


Digitized by Google

von unlogischem Wortaufbau, wie z. B. „temperaturfrei" sollten jedoch besser fortbleiben. Einige Beispiele (S. 76, 109) sind insofern unglücklich gewählt, als sie erst durch später folgende Ausführungen verständlich werden. Auch sonst erschweren stellenweise Verweisungen auf spätere Kapitel dem Anfänger die Lektüre. Leider sind auch Druckfehler nicht selten; zum großen Teil scheinen sie erst bei der Neuauflage entstanden zu sein.

Weshalb eine Reihe von Erörterungen, die ganz allgemein für viele Arten von Meßgeräten gelten, in dem speziellen Abschnitt über Weicheisenmeßgeräte untergebracht sind, ist nicht einzusehen. Sachlich ist ferner zu bemerken, daß sich die Leistung im Vektordiagramm der Ströme und Spannungen nicht als Strahl darstellen läßt, wie auf S. 197 angegeben. Auch verhält sich im allgemeinen die Oszillographenschleife nicht „ähnlich wie das bewegliche System beim Vibrationsgalvanometer", (S. 220). Für ein Lehrbuch wäre es zweckmäßiger, gerade die Unterschiede hervorzuheben.

Die Figuren sind meist recht gut, einige schätzen allerdings das Vorstellungsvermögen des Lesers gar zu gering ein und hätten wohl ohne Schaden für das Ganze wegbleiben können (z. B. Fig. 46, 280—283). In Fig. 259 würden beigefügte Beschriftungen das Verständnis wesentlich erleichtern.

Diese Ausstellungen, die ja im wesentlichen äußerlicher Natur sind, verfolgen jedoch keineswegs den Zweck, das Buch herabzusetzen, welches im ganzen doch eine sehr wertvolle Bereicherung unserer elektrotechnischen Literatur darstellt, sie sollen vielmehr nur Anhaltspunkte darstellen, deren Berücksichtigung bei einer später eventuell notwendig werdenden Neuauflage von Vorteil sein kann. *Zickner.*

E. Leybolds Nachfolger A.-G. in Köln a. Rh. Sonderpreisliste IX über Diffusionsluftpumpen nach Prof. Dr. Gaede.

Die Liste bringt zunächst eine ausführliche Darstellung der Wirkungsweise der Pumpen und geht insbesondere auf die Unterschiede der Diffusionspumpe gegen die Dampfstrahlpumpe ein. Die Firma stellt 3 Typen her:

1. Diffusionspumpe aus Glas mit Stahlspalt, mit einer Sauggeschwindigkeit von 0,1 l/s, die durch Einsetzen einer Hilfsdüse auf 0,25 l/s gesteigert werden kann.

2. Diffusionspumpe ganz aus Glas. Saugleistung mindestens 0,25 l/s, für die einzelnen Pumpen etwas verschieden, infolge der unvermeidlichen Verschiedenheiten bei der Glasbläserarbeit.

3. Diffusionspumpe ganz aus Stahl. Diese neue Type, die tatsächlich aus 3 hintereinandergeschalteten Pumpen besteht, bedarf nur eines Vorvakuums von 20 mm und fördert mehrere Liter in der Sekunde. Sie bedarf einer sehr rasch wirkenden Vorpumpe. *Block.*

Testing, *a monthly international journal, devoted to the field of testing materials, structures and machinery.* Heft 1, Jan. 1924. 8°. 91 S. *The Pullmann puplishing Co.*, New York 15 Dollar jährlich.

Die neue sorgfältig ausgestattete Zeitschrift sei hier besonders hervorgehoben, einmal weil sie wichtige instrumentelle Fragen bearbeitet und unserer Zeitschrift somit inhaltlich nahesteht, dann aber auch, weil dem Herausgeber Charles Osgood Reid die Schaffung eines im strengen Sinne internationalen Organes vorschwebt. Die vorläufige Liste der Mitarbeiter ist in der Tat international. Am stärksten sind Deutschland und Deutsch-Österreich vertreten, mit fast der Hälfte der aufgeführten 34 Namen; am schwächsten Frankreich mit einem einzigen Mitarbeiter. Der Einführung der Zeitschrift dienen drei kurze Kundgebungen: „*The importance of special alloy steels in industrie*" von Hadfield, ein zustimmender Brief von Brinell und „*Science should know no nationality*" von J. M. Lessels vom *Westinghouse research laboratory.* Der fachliche Inhalt des Heftes ist außerordentlich mannigfaltig und für die Zukunft vielversprechend.

G.

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Digitized by Google

PERIODICAL ROOM
GENERAL LIBRARY
UNIV. OF MICH.

AUG 30 1924

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben
unter Mitwirkung der
Physikalisch-Technischen Reichsanstalt
von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **A. Schmidt** in Cöln a. Rh., **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang.

1924.

7. Heft: Juli.

Inhalt:

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1924.

Digitized by Google

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande nur durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Die Berechnung erfolgt heftweise.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei $^1/_4$ $^1/_2$ $^1/_1$ Seite Umfang
30.— 60.— 120.— Goldmark

Bei 6 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist
10 20 % Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,30 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseingangs. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungsdatum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) nur auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch
Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.



Präzisionsinstrumente

(registrierend und nichtregistrierend)

für

**Luftdruck / Temperatur / Feuchtigkeit
Windmessung / Sonnenschein / Niederschlag / Wasserstandsbeobachtungen**



Digitized by Google

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. H. **Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIV. Jahrgang. **Juli 1924.** Siebentes Heft.

Die deutsche Gezeitenrechenmaschine.

Von

Dr. **H. Rauschelbach** in Hamburg.

Nach Ablauf des ersten Drittels des vorigen Jahrhunderts haben die größeren seefahrttreibenden Staaten, 1833 England, 1839 Frankreich, 1853 Vereinigte Staaten, 1878 Deutschland usw., angefangen, alljährlich Gezeitentafeln zu veröffentlichen. Dies sind, wie die astronomischen Jahrbücher, auf wenigstens ein Jahr im voraus herausgegebene Tafeln, die für jeden Tag des Jahres die vorausberechneten Zeiten und Höhen der Hochwasser und in neuerer Zeit auch der Niedrigwasser für eine Anzahl der wichtigsten Häfen der Erde geben.

In früheren Zeiten, als noch größtenteils Segelschiffahrt betrieben wurde, war das Bedürfnis nach genauen Gezeitenangaben bei den Schiffsführern nicht erheblich Bei der jetzt strafferen Handhabung des Reedereibetriebes ist jedoch die vorherige. Kenntnis des Verlaufs der Gezeiten von großer Bedeutung, besonders an den Orten, wo ein genauer Fahrplan innegehalten werden soll; denn schon eine Änderung in den Wassertiefen über den Barren um Bruchteile des Meters sind entscheidend, ob ein tiefgehender Dampfer unverzüglich in einen Hafen einlaufen kann, oder ob er noch stundenlang auf eine günstige Gezeit warten muß.

Von höchster Wichtigkeit waren genaue Gezeitenangaben während des Krieges selbst. Denn ein vor einem Gezeitenhafen wartendes Schiff war unter Umständen nicht nur schlechtem Wetter, sondern auch der viel ernsteren Gefahr eines Unterseebootangriffes ausgesetzt. Wurde ein Fahrzeug von einem andern gejagt, so war der Führer des Schiffes im Vorteil, der die besten Gezeitenvorausberechnungen besaß, weil an der Hand dieser Angaben zu entscheiden war, ob eine Abkürzung des Weges durch Überfahren einer seichten Stelle gewagt werden konnte. Bei der Beschießung der flandrischen Küste gingen flachgehende Kriegsfahrzeuge der Verbündeten nach Möglichkeit auf den seichtesten Stellen zu Anker, wo sie am wenigsten durch Angriffe der Unterseeboote gefährdet waren, da diese hier nicht tauchen konnten und von ihnen abgegebene Torpedoschüsse eher die Untiefen getroffen hätten als die Schiffe. Bei dem gerade an der flandrischen Küste stark wechselnden Tidenhub und unregelmäßigen Verlauf der Gezeiten ist es klar, daß derartige Unternehmungen im Bereich der Sände nur möglich waren, wenn sehr genaue und ausführliche Gezeitenvorausberechnungen, z. B. Angaben der Höhen von Stunde zu Stunde, zur Verfügung standen. Nicht minder wichtig war die genaue Kenntnis der Gezeiten beim Minenlegen.

Welche Bedeutung den Gezeitenvorausberechnungen auf Grund der während des Krieges gesammelten Erfahrungen in den verschiedenen Ländern beigemessen wird,


Digitized by Google

das zeigt sich unter anderem nicht nur darin, daß fast alle schon vor dem Kriege erscheinenden Gezeitentafeln beträchtlich an Umfang vermehrt sind, sondern auch darin, daß mehr Länder dazu übergegangen sind, die Gezeiten an ihren Küsten selbst zu bearbeiten und vorauszuberechnen.

Wie allgemein bekannt ist, sind die Gezeiten der Einwirkung der Anziehungskraft von Mond und Sonne auf die Wassermassen der sich um ihre Achse drehenden Erde zuzuschreiben, wobei der Mond als der der Erde am nächsten stehende Himmelskörper an den überwiegend meisten Orten der Erde die Hauptwirkung ausübt. Seit Newton und Laplace lassen sich rechnerisch ohne Schwierigkeit die Ausdrücke für die fluterzeugenden Kräfte von Mond und Sonne auf eine vollständig mit Wasser von gleicher Tiefe bedeckte Kugel aus astronomischen Angaben allein berechnen; die Gezeiten jedoch, wie sie in der Natur in Erscheinung treten, werden durch die Erdteile und Inseln und durch die großen Unterschiede in den Tiefen der Weltmeere so stark umgebildet, daß sie wenig oder keine Ähnlichkeit mehr mit den rein rechnerisch ermittelten Gezeiten zeigen. Während sich also die Gezeitenkräfte für irgend einen Ort auf der Erde durch eine allgemeine Formel, die nur astronomische Angaben enthält, berechnen lassen, ist es nicht möglich, einen ähnlichen allgemeinen Ausdruck zur Bestimmung der Zeit und Höhe der Hoch- und Niedrigwasser ebenso aufzustellen. Die Gezeiten sind nämlich Erscheinungen, die auch von den Orten, an denen sie auftreten, abhängig sind; daher ist es zur Vorhersage der Zeiten und Höhen zukünftiger Gezeiten eines Hafens notwendig, auf an diesem Orte bereits angestellte Gezeitenbeobachtungen zurückzugreifen, aus denen die dem Orte eigentümlichen Grundlagen ermittelt werden können.

Diese Beobachtungen bestanden früher hauptsächlich aus Angaben der Zeiten und Höhen der Hoch- und Niedrigwasser, weniger aus stündlichen Pegelablesungen. In den letzten vierzig Jahren werden die Beobachtungen mehr und mehr mittels selbstzeichnender Pegel angestellt, die in der Weise arbeiten, daß beim Steigen oder Fallen des Wasserspiegels ein Zeichenstift über einen Papierstreifen oder eine Papierwalze aufwärts oder abwärts bewegt wird. Da das Papier mittels eines Uhrwerkes mit gleichförmiger Geschwindigkeit unter dem Zeichenstift entlang geführt wird, wird durch die vereinigte Bewegung des Zeichenstiftes und des Papiers eine stetige Gezeitenkurve hervorgebracht, aus der dann die Höhen für beliebige Zeiten abgelesen werden können.

Zur Berechnung von Gezeitentafeln sind früher nur die Hoch- und Niedrigwasserbeobachtungen nutzbar gemacht worden. Nach den älteren Verfahren von Laplace, Lubbock u. a. werden für einen längeren Zeitraum die Zeitunterschiede zwischen der Hoch- oder Niedrigwasserzeit und dem letzten oder einem andern passenden vorhergehenden Durchgang des Mondes durch den Meridian des Beobachtungsortes gebildet, die als Mondflut- oder Mondebbeintervalle bezeichnet werden. Diese Zeitunterschiede sind mit dem Abstand des Mondes von der Sonne am Himmel in gewissen Grenzen veränderlich. Ihre Abweichungen vom Mittelwert, die halbmonatliche Ungleichheit in Zeit, kann dann in einer Tabelle oder Kurve dargestellt werden. In ähnlicher Weise lassen sich die Höhen angeben.

Zur Vorausberechnung von Gezeitenangaben können dann die Verbesserungen der mittleren Mondflut- und Mondebbeintervalle und der mittleren Hoch- und Niedrigwasserhöhen diesen Tabellen oder Kurven der halbmonatlichen Ungleichheiten in Zeit und Höhe entnommen werden. An diese Angaben werden dann noch Verbesserungen sowohl wegen des Einflusses von Deklination und Parallaxe von Mond und Sonne als


Digitized by Google

auch wegen der täglichen Ungleichheit angebracht, die selbst wieder mit der Deklination der fluterzeugenden Gestirne veränderlich ist.

Diese Verfahren sind jedoch nur für solche Orte mit Vorteil verwendbar, wo die tägliche Ungleichheit klein ist, z. B. in Europa und an der Ostküste der Vereinigten Staaten. Wo diese größer wird, würde es bei der außerordentlich verwickelten Art der Bewegungen des Mondes und der Erde nötig sein, die Anzahl der Verbesserungen wesentlich zu vermehren, um brauchbare Ergebnisse zu erhalten. An den Küsten, an denen auch eintägige Gezeiten auftreten, würden diese Verfahren jedoch gänzlich versagen.

Im Jahre 1867 hat daher Sir William Thomson, der spätere Lord Kelvin ein bereits von Laplace begründetes, neues geistreiches Verfahren für die Darstellung der Gezeitenbeobachtungen vorgeschlagen, das als „harmonische Analyse der Gezeiten“ bezeichnet wird, und das gestattet, die verwickelten Gesamteinwirkungen von Mond und Sonne auf die Wassermassen der Erde in eine größere Anzahl von Einzelwirkungen aufzulösen. Dieses Verfahren, das in Europa mehr und mehr und in den Ländern außerhalb Europas ausschließlich zur Anwendung gekommen ist, ist besonders durch Sir G. H. Darwin ausgebaut worden. Er hat gezeigt, daß sich die fluterzeugenden Kräfte des Mondes und der Sonne durch die Entfernungen dieser Gestirne vom Erdmittelpunkt, durch ihre Massen, ihre geozentrischen Zenitdistanzen und den Erdhalbmesser am Beobachtungsorte angeben lassen.

Weiterhin kann bewiesen werden, daß sich diese Größen außer durch die mittlere Sonnenzeit am Beobachtungsorte noch durch die folgenden auf die Ekliptik bezogenen Veränderlichen: die mittlere Länge des Mondes, die Länge des Mondperigäums, die Länge des aufsteigenden Mondknotens, die mittlere Länge der Sonne und die Länge des Sonnenperigäums ausdrücken lassen. Da diese Größen als rein harmonische Ausdrücke darstellbar sind, so können auch die fluterzeugenden Kräfte durch eine Reihe von harmonischen Gliedern wiedergegeben werden, die aus dem Produkt einer von der Zeit unabhängigen Größe und dem Kosinus eines mit der Zeit gleichförmig wachsenden Winkels bestehen. Werden die Wassermassen der Erde nun durch Kräfte erregt, die sich durch solche harmonischen Glieder ausdrücken lassen, so werden nach dem Gesetz von den erzwungenen Schwingungen auch die Schwankungen des Meeresspiegels durch Teilwellen oder „Tiden“ von der Form

$$H_x \cdot \cos(V_x - \varkappa_x)$$

dargestellt werden können, die ebenfalls durch den Kosinus eines in gleicher Weise wachsenden Winkels $V_x - \varkappa_x$ ausdrückbar und deren Amplituden H_x und Phasen $-\varkappa_x$ aber unbekannt sind.

Die Gezeiten, wie sie in der Natur auftreten, werden also aus einer Anzahl von Tiden zusammengesetzt betrachtet. Die Argumente V_x der einzelnen Tiden werden durch astronomische Rechnung aus den bekannten Bewegungen von Mond und Sonne bestimmt. Sie hängen von folgenden sechs Grundgeschwindigkeiten ab:

γ = Umdrehungsgeschwindigkeiten der Erde,
σ = Mittlere Bewegung des Mondes in seiner Bahn,
η = Mittlere Bewegung der Sonne, also der Erde in ihrer Bahn,
$\tilde{\omega}$ = Mittlere Bewegung des Mondperigäums,
ν_1 = Mittlere Bewegung des aufsteigenden Mondknotens,
$\tilde{\omega}_1$ = Mittlere Bewegung des Sonnenperigäums,

Digitized by Google

und lassen sich in der einfachen Form

$$i_x = A \cdot \gamma + B \cdot \sigma + C \cdot \eta + D \cdot \tilde{\omega} + E \cdot \nu_1 + F \cdot \tilde{\omega}_1 \qquad 1)$$

darstellen, wo A, B, C, D, E, F positive oder negative, kleine ganze Zahlen oder teilweise null sind, und werden für die mittlere Sonnenstunde bis auf die siebente Stelle des Bogengrades ausgedrückt. (Alle bisher gebauten Gezeitenrechenmaschinen berücksichtigen nur Tiden, die von den ersten vier und größten Grundgeschwindigkeiten abhängig sind. Auf Grund eigener Untersuchungen halte ich es für denkbar, daß in Zukunft auch Tiden berechnet werden, deren Winkelgeschwindigkeiten auch von der mittleren Bewegung des Mondknotens abhängen. Die letzte Grundgeschwindigkeit dagegen ist zu klein, um jemals in Betracht gezogen zu werden.)

Eine allgemein angenommene Bezeichnungsweise der Tiden hat sich bei der Anwendung der harmonischen Analyse als notwendig erwiesen. So ist jede Tide bekannt unter einem Buchstabenzeichen mit einer Merkzahl, die die Klasse der Tide angibt oder erkennen läßt, wie oft diese Tide an einem mittleren Sonnentage sämtliche Phasen durchläuft; z. B. sind die halbtägige Haupt-Mondtide und die halbtägige Haupt-Sonnentide mit M_2 und S_2 bezeichnet. (Die Tiden, die bei den Vorausberechnungen mit der deutschen Gezeitenrechenmaschine berücksichtigt werden können, sind nebst ihren stündlichen Winkelgeschwindigkeiten in der auf Seite 303 folgenden Tabelle zusammengestellt.)

Die Winkelgeschwindigkeiten der Tiden sind nach dem Vorhergehenden von örtlichen Bedingungen unabhängig und daher für alle Orte der Erdoberfläche die gleichen. Verschieden von Ort zu Ort sind dagegen für die einzelnen Tiden die Amplituden H_x und die Phasen $\varkappa_x$, die „harmonischen Konstanten" der Tide x, die von der Zeit unabhängige, der Tide und dem Beobachtungsorte eigentümliche, feste Größen darstellen. Zur Ermittlung der Amplituden und Phasen nach der harmonischen Analyse werden die Ablesungen der Pegelaufzeichnungen von Stunde zu Stunde mittlerer Sonnenzeit für einen längeren Zeitraum, nach Möglichkeit die eines ganzen Jahres, verwandt. Mehr möge hier über dieses Rechenverfahren nicht gesagt werden, zumal eine größere Arbeit über die harmonische Analyse demnächst im *„Archiv der Deutschen Seewarte"* erscheinen wird.

Von den meisten Tiden, die auf die Gestalt der Gezeitenkurve eines Ortes einen merkbaren Einfluß ausüben, sind die harmonischen Konstanten durch die harmonische Analyse für alle tatsächlich wichtigen Häfen der Welt bestimmt und gleich astronomischen Angaben durch Veröffentlichung oder Austausch Allgemeingut aller seefahrttreibenden Völker geworden. Für jeden jener Häfen liegt also ein besonderer Satz von harmonischen Konstanten schon gegeben vor. Mit ihrer Hilfe ist es nicht schwierig, die Höhen der einzelnen Tiden für eine gegebene zukünftige Zeit zu ermitteln. Um die Höhe der Gezeitenwelle für eine bestimmte Zeit zu erhalten, ist es also nur notwendig, die Höhen der einzelnen Tiden zu jener Zeit zu vereinigen.

Wird die gesuchte Höhe mit h bezeichnet, so wäre die Gleichung

$$h = A_0 + \sum R_x \cdot \cos\,(i_x \cdot t - \zeta_x) \qquad 2)$$

auszuwerten; hier ist A_0 eine feste Zahl, die der Höhe des mittleren Wasserstandes über einer Bezugsebene entspricht, die meist mit Kartennull oder der Ebene zusammenfällt, auf die die in den Seekarten angegebenen Tiefen bezogen sind; R_x ist die aus H_x hervorgegangene, für die Mitte des der Berechnung unterliegenden Zeitraums gültige und in Meter ausgedrückte Amplitude der Tide x; i_x ist die in Bogengraden


Digitized by Google

ausgedrückte stündliche Winkelgeschwindigkeit; t ist die Zeit in mittleren Sonnenstunden vom Beginne der Vorausberechnungen an (meist Januar 1 vormittags 0 Uhr) bis zu dem Augenblicke, für den die Höhe ermittelt werden soll, ζ_x ist die aus $\varkappa_x$ berechnete Phase der Tide x für den Anfangszeitpunkt, ebenfalls ausgedrückt in Bogengraden. Ein einzelnes harmonisches Glied der Gleichung 2) stellt die durch die Tide x erzeugte einfache harmonische Bewegung dar, die zeichnerisch durch eine durch Amplitude und Phase bestimmte Kosinuskurve wiedergegeben werden kann.

Die Vorausberechnung einer vollständigen Gezeitenkurve nach Gleichung 2) erfordert jedoch einen sehr großen Aufwand an Rechenarbeit, die noch dadurch vermehrt wird, daß die auf die Dauer ermüdende und daher leicht Fehlern unterworfene Berechnungsart ausgedehnte Nachprüfungen verlangt. Wenn die Werte von t für die Zeiten der Hoch- und Niedrigwasser bekannt wären, könnten die Hoch- und Niedrigwasserhöhen immerhin durch Anwendung der Gleichung 2) erlangt werden. Da diese die Höchst- und Niedrigstwerte der Gezeitenkurve darstellen, fänden die Zeiten der Hoch- und Niedrigwasser dann statt, wenn die erste Ableitung der Gleichung 2) verschwindet, wenn also

$$-\frac{dh}{dt} = \sum R_x \cdot i_x \cdot \sin(i_x \cdot t - \zeta_x) = 0 \qquad 3)$$

ist; d. h. diese Zeiten sind Wurzeln der Gleichung 3), die nur durch eine Reihe von Näherungsrechnungen ermittelt werden können. Da demnach die Zeiten und Höhen der Hoch- und Niedrigwasser nicht unmittelbar zu erhalten sind, müssen für mehrere den meist angenähert bekannten Hoch- und Niedrigwasserzeiten benachbarte Sonnenstunden die Höhen nach Gleichung 2) berechnet werden, aus denen dann nach besonderen Regeln die Zeiten der Hoch- und Niedrigwasser abgeleitet werden können.

Da an jedem Orte in einem Jahre ungefähr 1400 Hoch- und Niedrigwasser stattfinden, ist die Berechnung einer Gezeitentafel nach diesem Verfahren eine sehr mühevolle und kostspielige Aufgabe, zumal da die Berechnung für jedes Jahr wiederholt werden muß, und ein erfahrener Rechner unter Mitnahme aller zu berücksichtigenden Tiden die Vorausberechnung nur weniger Häfen in einem Jahr fertigstellen kann.

Es ist selbstverständlich, daß bereits wenige Jahre nach der Einführung der harmonischen Analyse der Gedanke auftauchte, Vorrichtungen zur maschinenmäßigen Vorausberechnung der Gezeiten aus Gründen sowohl der Sparsamkeit als auch der Genauigkeit zu ersinnen. In den letzten vier Jahrzehnten ist dieser Gedanke dann durch die Ausführung mehrerer englischer Maschinen durch W. Thomson und E. Roberts, zweier amerikanischer Maschinen durch die U. S. Coast and Geodetic Survey und einer deutschen Maschine verwirklicht worden.

Eine kurze Beschreibung der deutschen Gezeitenrechenmaschine ist bereits im Märzheft der „*Annalen der Hydrographie usw.*" 1921 erschienen. Eine nahezu fertiggestellte wesentlich ausführlichere als die weiter unten gegebene Darstellung, die eingehend die rechnerischen Grundlagen wie auch die auf diese Grundlagen sich stützende Bauausführung der Maschine behandelt, soll erst später in einem Hefte des „*Archivs der Deutschen Seewarte*" zum Abdruck gelangen.

Die deutsche Gezeitenrechenmaschine ist für das Kaiserliche Observatorium in Wilhelmshaven in den Jahren 1915/16 in verhältnismäßig kurzer Zeit erbaut worden, wenn berücksichtigt wird, daß der Bau der neuen amerikanischen Maschine 1896 begonnen und erst 1910 vollendet ist. Der Bauentwurf für die deutsche Maschine und diese selbst ent-


Digitized by Google

stammen den Werkstätten für wissenschaftliche Instrumente Otto Toepfer & Sohn in Potsdam, die seit 1919 in den Askania-Werken Aktiengesellschaft, Bamberg-werk, Berlin-Friedenau, aufgegangen sind. Durch die im Herbst 1919 erfolgte Verlegung des Gezeitendienstes vom Marine-Observatorium in Wilhelmshaven an die Deutsche Seewarte in Hamburg ist die Maschine, die bis dahin in einem Raume der Toepferschen Werkstätten untergebracht war, im Oktober 1919 in dem geräumigen Gezeitendienstzimmer der Deutschen Seewarte zur Aufstellung gelangt.

Wie jede Maschine, die im Laufe der Jahre eine weite Verbreitung gefunden hat, vom noch einfachen Muster des Erfinders zu größerer Vollendung ausgebaut worden ist, indem auch alle brauchbaren Verbesserungen anderer in dem gleichen Arbeitsgebiete Tätigen bei den Entwürfen von neuen Bauausführungen berücksichtigt worden sind, so enthält auch die deutsche Gezeitenrechenmaschine manchen Grundgedanken der englischen und amerikanischen Maschinen — soweit mir bekannt geworden ist, war den Toepferschen Werkstätten nur die Beschreibung der ersten amerikanischen Maschine und der zweiten englischen zugänglich —; wesentliche Teile der Maschine, z. B. die Darstellung der Winkelgeschwindigkeiten der Tiden und der harmonischen Bewegung und die selbsttätige Einstellung der Amplituden auf der Rückseite der Maschine, sind jedoch nach ganz neuen Leitgedanken erstanden.

Die Maschinen englischer Bauart vermögen nur eine Kurve der vorausberechneten Gezeiten zu ziehen, von der die Hoch- und Niedrigwasserzeiten und -höhen, um sie in die für den Drucker bestimmten Vorlagen eintragen zu können, noch abgelesen werden müssen; diese Arbeit, die mehr Zeit erfordert als die Herstellung der Kurve selbst, hat Ferrel veranlaßt, die erste amerikanische Maschine keine Gezeitenkurve ziehen zu lassen, sondern die Maschine so zu gestalten, daß sie auf ihrer Vorderseite die Zeiten und Höhen der Hoch- und Niedrigwasser für nicht zu verwickelte Gezeiten an einem Zeigerblatt und an einem Maßstab unmittelbar angibt. Die Eigenschaften beider Arten von Maschinen werden sowohl in der zweiten amerikanischen wie der deutschen vereinigt, indem beide nicht nur die Kurven der Gezeiten zu zeichnen, sondern auch ihre Höhen für jeden beliebigen Zeitpunkt anzuzeigen vermögen. Während des Baues der deutschen Maschine war in Aussicht genommen gewesen, ihr noch ein Druckwerk anzugliedern, das bestimmt war, um die an der Maschine vom Beobachter zu machenden Ablesungen vermeiden zu können, diese Beobachtungen nach Zeit und Höhe fortlaufend in Ziffern selbsttätig auf einen Papierstreifen aufzudrucken. Leider hat sich dieser Plan, der den Beobachter an der Maschine entbehrlich macht, bisher nicht verwirklichen lassen, da die zum Bau des Druckwerkes erforderlichen Mittel nicht haben bereitgestellt werden können.

Im folgenden soll nun im wesentlichen die deutsche Gezeitenrechenmaschine in ihrer ersten Bauausführung beschrieben werden; da eine zweite Ausführung der Maschine in Angriff genommen ist, scheint es angebracht zu sein, hier auch darauf hinzuweisen, welche Mängel abzustellen und welche Verbesserungen anzubringen noch als wünschenswert erscheint.

Die allgemeine Gestalt der deutschen Gezeitenrechenmaschine kann aus den Fig. 1 und 2 ersehen werden. Die Fig. 1 stellt eine vollständige Ansicht der Vorderseite der Maschine dar, die Fig. 2 ihre Rückseite in schräger Ansicht.

Die Maschine ist auf einer viereckigen gußeisernen Grundplatte, die unterwärts durch Längs- und Querrippen stark versteift ist, aufgebaut. Durch vier nahe den Ecken befindliche, verstellbare und mit Gegenmuttern versehene Fußschrauben, die sich auf kräftige Unterlegscheiben stützen, wird diese Grundplatte in einer geringen


Digitized by Google

Entfernung von der Betonunterlage, die eigens zur Aufnahme des großen Gewichtes der Maschine zwischen den Deckenträgern und einigen neuen Verbindungsträgern aufgeschüttet ist, genau wagerecht gehalten.

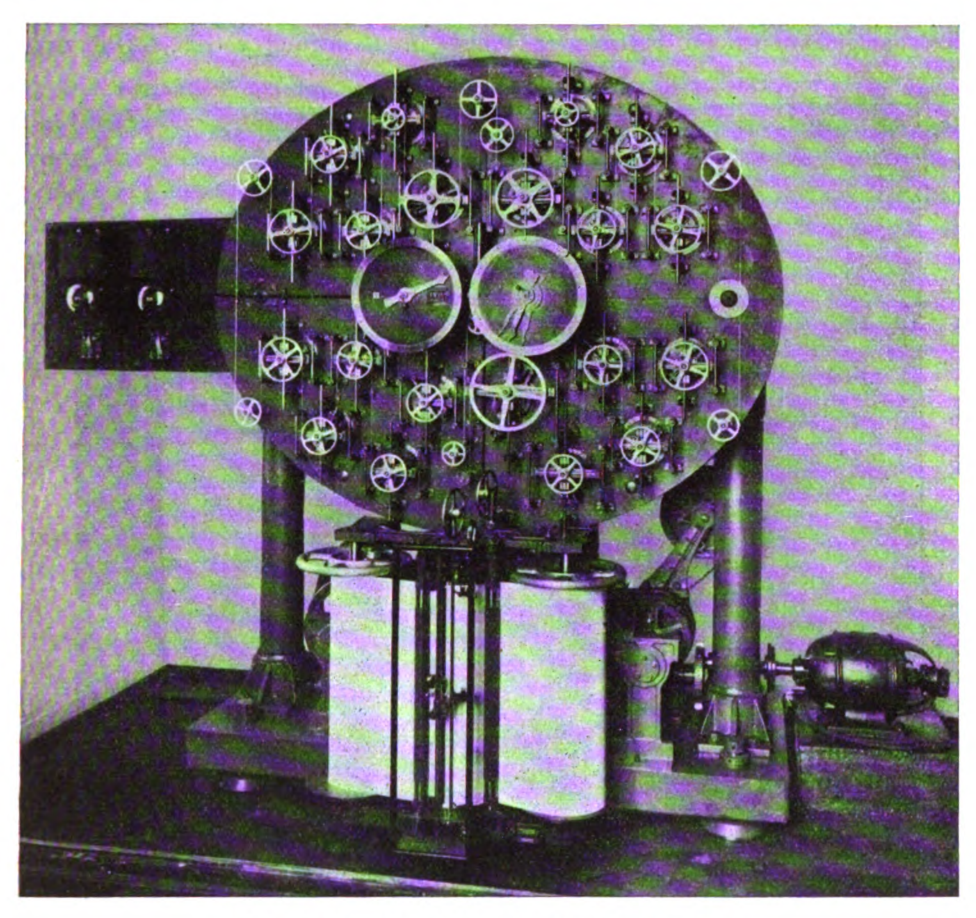


Fig. 1. Vorderseite der deutschen Gezeitenrechenmaschine.

Auf der Grundplatte sind zunächst zwei aus einem Stück gegossene eiserne Lagerwände, eine vordere und eine hintere Lagerwand, aufgeschraubt, die aus je vier Stehlagern bestehen, die durch Rahmenwerk miteinander verbunden sind. Die beiden Lagerwände dienen als Träger für die Achsen und Wellen eines Räderwerkes, des „Vorgeleges" der Maschine. In diesem Vorgelege, das durch Handantrieb, im allgemeinen aber durch einen elektrischen Antrieb in Bewegung gesetzt werden kann, werden durch eine passend gewählte Anordnung von Zahn- und Schneckenradgetrieben die vier festen Grundgeschwindigkeiten erzeugt, aus denen sich die Winkelgeschwindigkeiten der einzelnen Tiden zusammensetzen.

Nahe den beiden Schmalseiten der Grundplatte erheben sich zwei Pfeiler, deren muffenartig ausgebildete Köpfe die sogenannten Tidenplattensäulen in sich aufnehmen. Diese dienen als Verbindungsglied zwischen den beiden großen elliptischen Tidenplatten, die aus je vier gleichen, gußeisernen Teilen bestehen, die an den aneinanderstoßenden Seiten durch Stifte gegen Verschiebung gesichert und durch Bolzen gegeneinander verschraubt sind. Zwischen den beiden Tidenplatten befindet sich das Tidenantriebswerk. Für jede der mit der Maschine erzeugten zwanzig Tiden (s. Tabelle)

Digitized by Google

sind hier eine Tidenantriebswelle und eine Tidenachse nebst den zugehörigen Verbindungsgetrieben eingebaut (Fig. 3). Hier sind ferner eine obere Hauptwelle und zwischen je zwei hintereinander liegenden Ellipsenvierteln immer eine Verteilungswelle gelagert, die miteinander und mit dem Vorgelege in Verbindung stehen und die Tidenantriebswellen in bestimmter Weise in Bewegung setzen. Die zwanzig

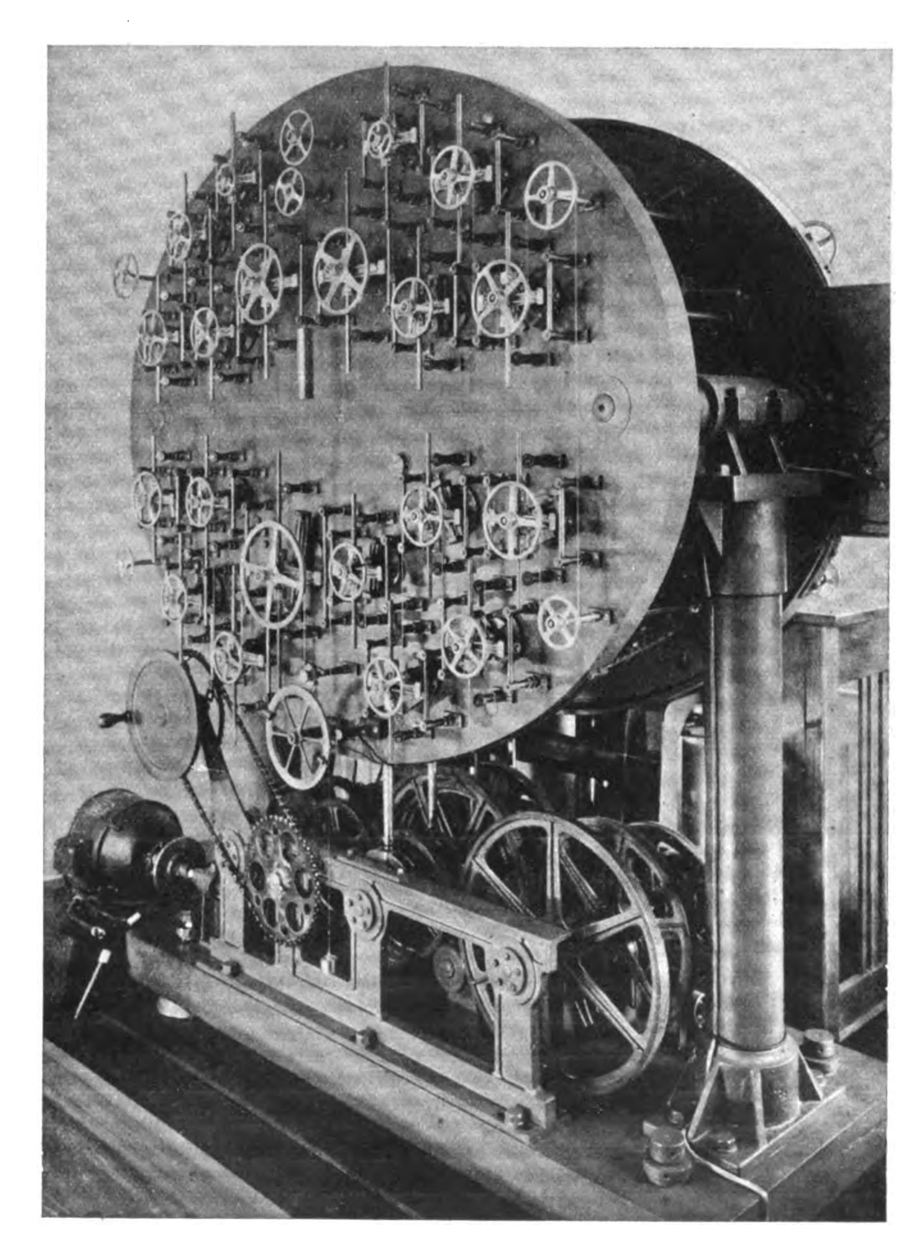


Fig. 2. Rückseite der deutschen Gezeitenrechenmaschine.

Tiden sind auf die Ellipsenviertel gleichmäßig verteilt, und zwar so, daß sie nahezu in vier wagerechten Reihen liegen, indem die mittleren Reihen je sechs und die äußeren je vier Tiden enthalten.

Die Außenseite der vorderen Tidenplatte trägt die Vorrichtungen zur Bildung der einzelnen Tiden und zu ihrer Zusammensetzung (Fig. 4); die einzelnen Teile der

Digitized by Google

Vorrichtungen werden im folgenden als Höhenkurbeln, Höhenkette, Höhenkettenräder usw. bezeichnet werden. In ähnlicher Weise sind auf der Außenseite der hinteren Tidenplatte, also auf der Rückseite der Maschine (Fig. 2), Kurbeln, eine Kette, Kettenräder usw. angebracht, die Zeitkurbeln, Zeitkette, Zeitkettenräder usw. genannt werden sollen.

Die vordere Tidenplatte trägt ferner auf der Vorder- oder Beobachtungsseite der Maschine links der Mitte ein Zeitwerk, das die Beobachtung eines Zeitpunktes in bezug auf Monat, Tag, Stunde und Minute gestattet. Rechts der Mitte befindet sich das Wasserstandszeigerblatt zur Ablesung des auf der Vorderseite der Maschine errechneten Wasserstandes. Unterhalb der vorderen Tidenplatte ist an der Grundplatte und an der vorderen Lagerwand des Vorgeleges das Zeichenwerk angebracht, das die Wasserstandskurve aufzuzeichnen erlaubt.

Um eine richtige Vorstellung von der Größe der Maschine als Ganzes erhalten zu können, seien folgende Abmessungen gegeben:

Senkrechte Entfernung vom Fußboden bis zum oberen Ende der Tidenplatten . . . . 1,87 m;

äußerste Länge, d. h. einschließlich der an der linken Seite der vorderen Tidenplatte angebrachten Schalttafel und der an der rechten Seite des Vorgeleges angebauten elektrischen Antriebsmaschine . 2,40 m;

äußerste Breite oder wagerechte Entfernung zwischen den vordersten Teilen des Schreibwerkes und den Zeitkettenrädern auf der Rückseite der Maschine . . . . 1,10 m

Die ganze Maschine ist von einem staubdicht schließenden Glasschrank von etwa 2,7 m Länge, 1,5 m Breite und 2,4 m Höhe umgeben. Der Schrank besitzt keine feststehende Wand, sondern nur in den vier Ecken schmale, an niedrigem Sockel und Decke verschraubte Säulen, an denen an der Schmalseite des Schrankes je zwei Türen und an der Längsseite je vier Türen in je drei Aufsatzgehängen ruhen dadurch ist die Maschine von jeder Seite zugänglich. Die bei den feststehenden Teilen verwandte Metallverschraubung gestattet, den ganzen Schrank, wenn es notwendig werden sollte, innerhalb einer Stunde zu entfernen.

Die Gezeitenrechenmaschine kann außer durch elektrischen Antrieb auch durch Handantrieb betätigt werden. Dazu ist an der hinteren Lagerwand eine Kurbel angebracht, die mittels Kette und Rad die Bewegung auf das Vorgelege überträgt

Die vier Grundgeschwindigkeiten, aus denen sich die Winkelgeschwindigkeiten der verschiedenen Tiden zusammensetzen, haben folgende Zahlenwerte:

$$\gamma = 15^0{,}0410686, \qquad \sigma = 0^0{,}5490165,$$
$$\eta = 0^0{,}0410686, \qquad \tilde{\omega} = 0^0{,}0046418,$$

wo als Zeiteinheit die mittlere Sonnenstunde gewählt ist. Im Vorgelege werden nun die vier Grundgeschwindigkeiten $\gamma - \eta = 15^0$, σ, η, ω erzeugt, die durch vier senkrecht stehende, messingene Hauptschlüssel in das Tidenantriebswerk übertragen werden. Der hintere oder erste Schlüssel hat also eine Winkelgeschwindigkeit, die zu der mittleren Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde zur mittleren Sonne oder zum Fortschreiten der Zeit in einem bestimmten Verhältnis steht, das durch die Umlaufszahl der Antriebsmaschine beliebig geändert werden kann. Der vor dem ersten angeordnete zweite Schlüssel besitzt eine der mittleren Bewegung des Mondes um die Erde im gleichen Verhältnis entsprechende Winkelgeschwindigkeit. Der wieder vor diesem liegende dritte Schlüssel entspricht in demselben Verhältnis der mittleren


Digitized by Google

Bewegung der Erde um die Sonne. Der vorderste oder vierte Schlüssel dreht sich mit einer Winkelgeschwindigkeit, die der mittleren Bewegung des Mondperigäums mal der gleichen Verhältniszahl entspricht.

Der hinterste, erste Schlüssel wird durch Vermittlung von Schnecke und Schneckenrad und von Zahnrädern unmittelbar durch den elektrischen Antrieb bewegt. Der zweite Schlüssel erhält seine Bewegung durch das Schlußrad des ersten Schlüssels unter Einschaltung mehrerer weiterer Stirnräder. Ebenso wird der dritte Schlüssel durch das Schlußrad des zweiten Schlüssels durch Zwischenschaltung einer Anzahl von weiteren Stirnrädern angetrieben. Der vierte Schlüssel erhält wieder wie der erste seine Bewegung durch Vermittlung von Stirnrädern und zwei Schnecken mit Schneckenrädern unmittelbar vom elektrischen Antrieb her.

Um die Zahl der Zähne der Zahn- und Schneckenradgetriebe ausfindig zu machen, sind die Verhältniszahlen je zweier Grundgeschwindigkeiten zunächst in Kettenbrüche verwandelt worden. Aus diesen Kettenbrüchen sind dann die gemeinen Brüche gebildet, die die Winkelgeschwindigkeitsverhältnisse mit genügender Annäherung darstellen. Die Zähler und Nenner dieser Brüche sind dann erweitert worden, um passende Zähnezahlen für je zwei ineinander eingreifende Räder zu erhalten.

Wie genau die im Vorgelege erzeugten Grundgeschwindigkeiten im Verhältnis zueinander dargestellt werden, obwohl die größte bei einem Zahnrade auftretende Zähnezahl 443 nicht übersteigt, ergibt sich aus dem Folgenden, wenn berücksichtigt wird, daß die Umdrehungsgeschwindigkeit des ersten Schlüssels dem Fortschreiten der Zeit entsprechen möge. Die Umdrehungsgeschwindigkeiten des dritten und vierten Schlüssels stimmen für eine mittlere Sonnenstunde oder auch für eine Stunde am Zeitzeigerblatt auf sieben Zehnerstellen des Bogengrades mit den astronomischen Angaben genau überein; die Umdrehungsgeschwindigkeit des zweiten Schlüssels dagegen weicht von dem gegebenen Werte um etwa eine Einheit der siebenten Stelle ab. Diese Abweichung beläuft sich im Verlauf eines ganzen Jahres am Zeitwerk jedoch auf noch nicht ein tausendstel Bogengrad.

Durch die Verwendung von Wechselrädern im Vorgelege, die sämtlich an kleinen der Grundplatte aufgeschraubten Stehlagern angebracht sind, wird erreicht, daß sich alle zur Erzeugung der Grundgeschwindigkeitsverhältnisse dienenden Stirn- und Schneckenräder um zwei Achsen, um die Hauptachse in der Mitte des Vorgeleges und um die links davon befindliche Nebenachse drehen können. Zwei weitere, rechts der Hauptachse angeordnete Wellen, die Mitnehmerwelle und die Verteilungswelle, dienen zur Übertragung der Bewegung von der Antriebsmaschine und zur Verteilung der Bewegung auf die Räder der Haupt- und Nebenachse.

Die vier Hauptschlüssel werden durch Kegelräder in Bewegung gesetzt, die an den sich um die Hauptachse drehenden Schlußrädern befestigt sind, und übertragen diese Bewegung auf vier große Kegelräder, die auf einer in der Mitte der beiden Tidenplatten sitzenden oberen Hauptwelle drehbar angeordnet sind. Diese vier Kegelräder verteilen die Bewegung durch viermal vier Kegelräder, an denen je ein Nebenschlüssel befestigt ist, auf die innerhalb der Ellipsenviertel liegenden vier Verteilungswellen, indem jeder Nebenschlüssel noch ein zweites Kegelrad trägt, das in ein um die Verteilungswelle bewegliches Kegelrad eingreift (Fig. 3). Ein jedes dieser 16 Kegelräder ist mit einem Verteilungszahnrad fest verbunden. Die Zähnezahlen der Kegelräder von der unteren Hauptachse bis zu den Verteilungswellen sind für jede Grundgeschwindigkeit gleich gewählt, so daß die Winkelbewegung eines Schlußrades des


Digitized by Google

Vorgeleges der der zugehörigen Verteilungszahnräder in den vier Ellipsenvierteln entspricht, oder mit anderen Worten, die vier auf jeder Verteilungswelle sitzenden Verteilungszahnräder drehen sich so, daß ihre Winkelgeschwindigkeiten mit den Grundgeschwindigkeiten $\gamma - \eta$, σ, η, $\tilde{\omega}$ in einem bestimmten und gleichen Verhältnis stehen.

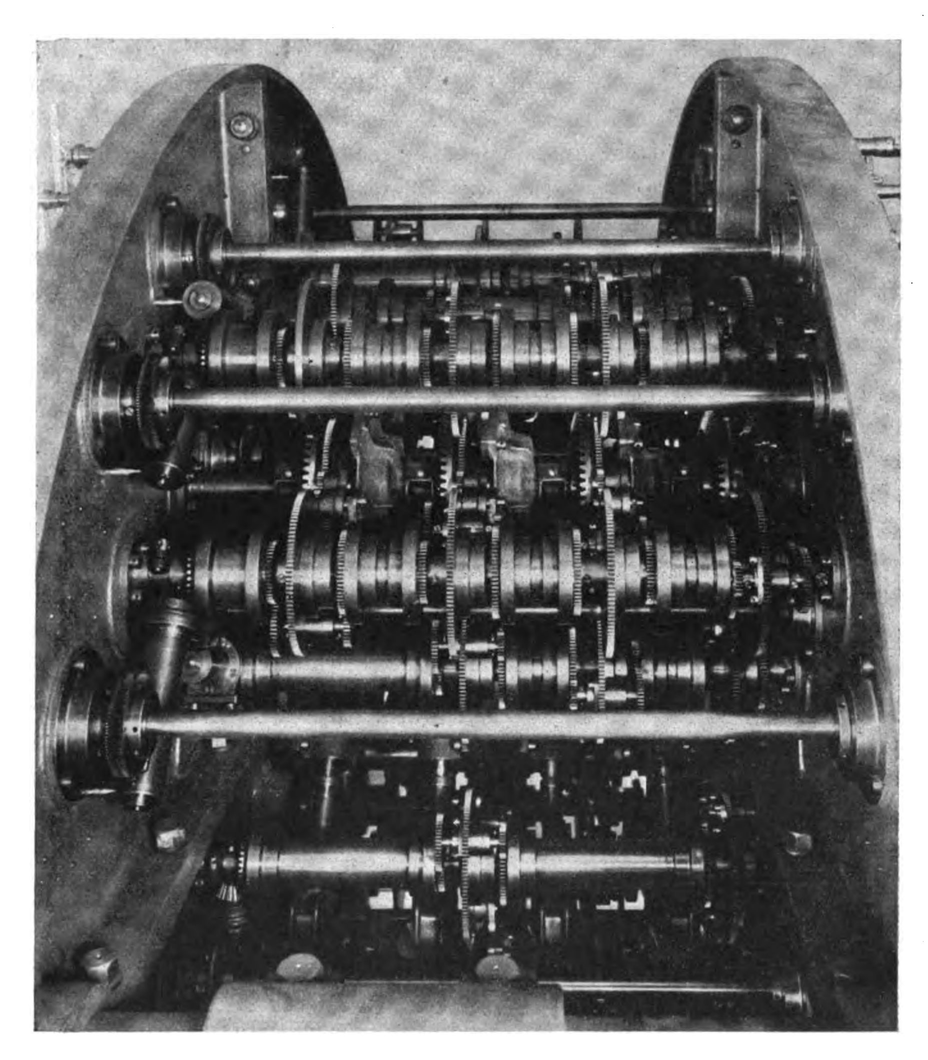


Fig. 3. Tidenantriebswerk, von schräg rechts oben gesehen.

Um jede Verteilungswelle herum sind fünf Tidenantriebswellen an den Innenseiten der beiden Tidenplatten gelagert. Sie tragen bis zu vier doppelwirkige Umlaufsgetriebe, die aus einem größeren Antriebsrad und einem außerhalb seiner Achse angeordneten Umlaufräderpaar bestehen. Die Umlaufräderpaare stehen miteinander durch um die Tidenantriebswellen umlaufende Walzen, die mit je zwei Zahnrädern versehen sind, in Verbindung. Das Antriebsrad eines jeden Umlaufgetriebes erhält seine Bewegung durch eins der Verteilungszahnräder der nebenliegenden Verteilungswelle unter Zwischenschaltung eines Wechselrades oder, wenn die Bewegung in entgegengesetztem Sinne wirken soll, durch ein Wechselräderpaar.

Auf dem hinteren Ende jeder Tidenantriebswelle ist vor dem ersten Umlaufgetriebe ein Zahnrad starr befestigt, so daß das eine der beiden Umlaufräder auf

Digitized by Google

diesem Zahnrade abrollen muß, wenn das Verteilungszahnrad der ersten Grundgeschwindigkeit das Antriebsrad des Umlaufgetriebes in Bewegung setzt. Die Bewegung wird durch das zweite Umlaufrad auf die erste Walze zwischen dem ersten und dem zweiten Umlaufgetriebe übertragen, diese wirkt auf das erste Umlaufrad des zweiten Umlaufgetriebes, wodurch mittels des zweiten Umlaufrades die zweite Walze zwischen dem zweiten und dritten Umlaufgetriebe angetrieben wird. Dadurch, daß das Verteilungszahnrad der zweiten Grundgeschwindigkeit das Antriebsrad des zweiten Umlaufgetriebes in Bewegung setzt, bewegt sich die zweite Walze mit einer Winkelgeschwindigkeit, die der Summe aus der ersten und zweiten Grundgeschwindigkeit oder aus Vielfachen derselben entspricht, je nachdem die Zähnezahlen der Umlaufräder und der Walzenräder gewählt sind. In gleicher Weise wird die Summe noch um die dritte und vierte Grundgeschwindigkeit oder um Vielfache derselben vermehrt oder vermindert.

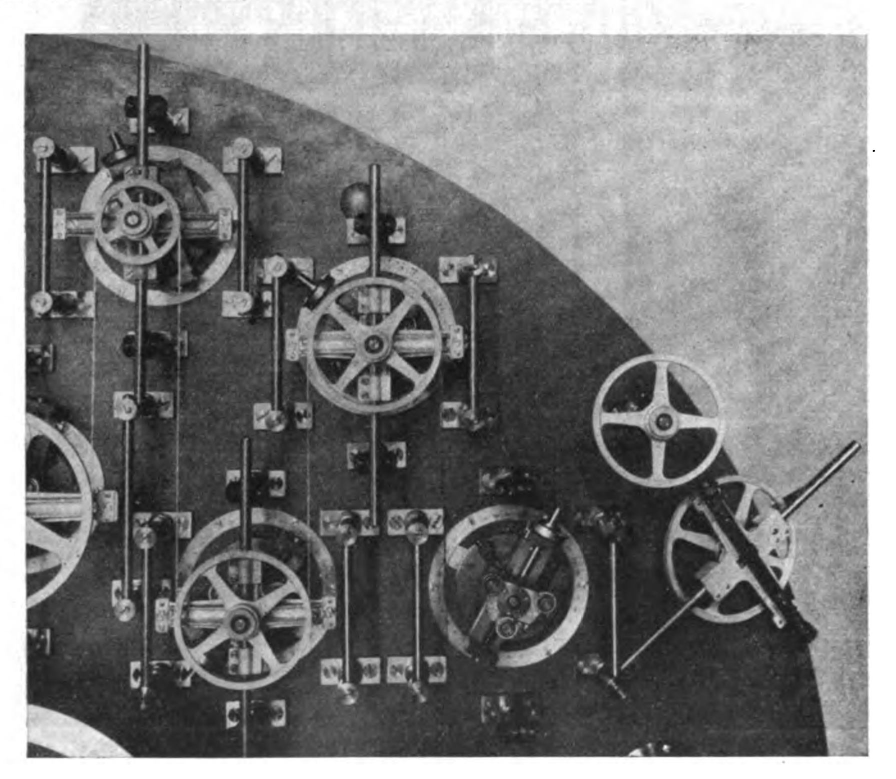


Fig. 4. Tidenköpfe und Führung der Kettenradhalter.

Die vierte oder die letzte Walze einer jeden Tidenantriebswelle trägt ein Kegelrad, das auf ein zweites Kegelrad wirkt, das mit einer Schnecke verbunden ist. Diese setzt ein Schneckenrad in Bewegung, das an einem Hohlzylinder befestigt ist, der um die zu der Tidenantriebswelle gehörigen, aus einem Messingrohr bestehenden Tidenachse drehbar angebracht und auf ihr festklemmbar ist. Durch die Vermittlung von Schnecke und Schneckenrad wird erreicht, daß ein Betrag von totem Gang, der beim Eingriff so vieler Zahnräder hintereinander notwendigerweise auftreten muß, sich nicht störend bemerkbar machen kann. Dafür muß aber, um den Tidenachsen eine dem Auffassungsvermögen des Beobachters angemessene Betriebsgeschwindigkeit zu geben, die Verhältniszahl zwischen den Grundgeschwindigkeiten der Tiden und den Winkelgeschwindigkeiten der vier Hauptschlüssel stark erhöht werden.

Digitized by Google

Durch die richtige Wahl der Zähnezahlen in den Umlaufgetrieben wird also erreicht, daß sich jede Tidenachse mit der jeder Tide entsprechenden Winkelgeschwindigkeit i_x [nach Gleichung 1)] mal einer gewissen Zahl, die ein Maß für die Betriebsgeschwindigkeit abgibt, bewegt.

Die Enden einer jeden Tidenachse sind zu zwei Köpfen ausgebildet, die in Kugellagern laufend aus der vorderen und der hinteren Tidenplatte hervorstehen (Fig. 4). Die Tidenachsenköpfe der Vorderseite der Maschine tragen zunächst zwei hintereinander liegende messingene Kopfscheiben, zwischen denen sich eine Mitnehmerscheibe dreht, die an dem auf der Tidenachse drehbar sitzenden Hohlzylinder befestigt ist. Die vordere Kopfscheibe trägt einen Wirbel, durch dessen Anziehen die drehbare Scheibe, und damit die Tidenachse, in einer beliebigen Stellung festgeklemmt werden kann. Zur Ablesung dieser Stellung dienen von Grad zu Grad geteilte und von 10° zu 10° bezifferte Kreise, die neben den Tidenkopfscheiben, die am äußeren Rande eine kleine Platte mit einem Einstellstrich tragen, auf der Tidenplatte angeschraubt sind.

Zum Anziehen und Lösen der Wirbel ist eine gewisse Geschicklichkeit und Übung notwendig. Es ist daher bei der neuen Bauausführung der Maschine zu versuchen, eine andere Art der Klemmung des Tidenkopfes einzuführen, die gleichzeitig die Anbringung einer Feinbewegung zum Einstellen der Phasen zuläßt. Diese Feineinstellung ist sogar notwendig, wenn in Zukunft, wie ich annehme, zur Herleitung genauer Gezeitenvorausberechnungen die harmonischen Konstanten nicht mehr jahresweise, sondern vielleicht monatsweise eingestellt werden.

Auf den Tidenkopfscheiben sind ferner gabelförmig ([) gestaltete Kurbeln, die Höhenkurbeln, angebracht, in die Mikrometerschrauben von 1,0 mm Steigung mit Teiltrommeln gelagert sind. Der Umfang dieser Trommeln ist in 20 Teile geteilt; jeder zweite Strich, also jedes Zehntel, ist beziffert. Die Mikrometerschrauben gestatten, verschiebbare viereckige Mutterstücke quer zur Tidenkopfachse herauszudrehen. Die Größe des Ausschubs ist an einer parallel zur Schraube angebrachten Teilung ablesbar, deren Bezifferung der Anzahl der Meter der Amplitude der Teiltide entspricht; für je 1 m Amplitude ist das Mutterstück 20 mm herauszuschrauben. Als störend beim Einstellen der Schrauben wird empfunden, daß zwei Schraubenumdrehungen auf einen Zwischenraum zwischen zwei Teilstrichen gehen. Diese leicht Fehleinstellungen unterworfene Teilungsart wird so abgeändert werden, daß je 1 m Amplitude 10 mm Ausschub entspricht.

Auf den Mutterstücken der Mikrometerschrauben sind kleine, auf Scheiben sitzende Kurbelzapfen zur Berichtigung verschiebbar angeschraubt. Um diese drehbar ist ein Aluminiumstück angebracht, das mit drei im gleichschenkligen Dreieck angeordneten Kugellagerrollen versehen ist. Diese rollen bei einer Drehung der Höhenkurbel beiderseits einer Messingschiene (Fig. 4, unten rechts), die an dem wagerechten Balken eines leichten Kreuzstückes angebracht ist, in wagerechter Richtung ab. Das aus Aluminium gegossene Kreuzstück oder der Kettenradhalter selbst bewegt sich dagegen bei einer gleichförmigen Drehung der Kurbel auf und nieder in einer geradlinigen, einfach harmonischen Bewegung.

Die Führung des Kettenradhalters erfolgt hierbei einmal durch zwei an den Enden seines wagerechten Balkens befestigte Kugellagerrollen, die an zwei an der Tidenplatte auf je zwei Säulen befestigten Führungsstangen aus Silberstahl auf- und abwärts rollen, ferner durch zwei Paar an der Tidenplatte auf Säulen angebrachten Kugellagerrollen, deren Achsen jedesmal einen rechten Winkel bilden, und die so


Digitized by Google

dem in den beiden geschlitzten senkrechten Balkenenden des Kettenradhalters festgeklemmten Tidenstab aus Silberstahl die Führung in senkrechter Richtung geben. Jeder Kettenradhalter trägt an der Vorderseite seiner wagerechten Enden kleine Schildchen mit der Tidenbezeichnung. Die leichten, sich in der Mitte des Kettenradhalters um Kugellagerrollen drehenden Höhenkettenräder aus Aluminium besitzen am Radkranz eine Nute, in die sich die Höhenkette einlegt. Die Durchmesser der Kettenräder sind so gewählt, daß die Kettenführung zwischen den Nuten je zweier aufeinanderfolgender Räder immer eine senkrechte ist.

Die Höhenkette zur Zusammensetzung der einzelnen Kettenradbewegungen, eine feine Chronometerkette von etwa $11^1/_2$ m Länge, ist mit ihrem einen Ende in der Nute einer kleinen drehbaren Scheibe befestigt, die an einem auf der Tidenplatte angebrachten Bock festgeklemmt wird. Da die Kette infolge der Abnutzung ihrer Gliederchen, wenn auch langsam, so doch dauernd, an Länge zunimmt, wäre es zweckmäßig, wenn diese Scheibe mit einer Grob- und Feineinstellung versehen wäre und so gestattete, die Länge der Kette um kleine Beträge zu verbessern, damit der Nullpunkt der Wasserstandshöhen erhalten bliebe. Die Kette läuft der Reihe nach über das erste und unter das zweite, über das dritte usw. der Kettenräder. Da, wo die Kette vom ersten unteren zum zweiten oberen und vom dritten oberen zum vierten unteren Ellipsenviertel übergeht, sind zwei Hilfskettenräder, zwischen dem zweiten und dritten Viertel ist ein Hilfskettenrad vorgesehen. Nach dem Verlassen des vierten Ellipsenviertels läuft die Kette noch über zwei Hilfskettenräder und zum Schluß über eine Leitscheibe, in deren einer von zwei Nuten das andere Ende der Kette durch eine Schraube festgehalten wird.

Je nach der Bewegung der einzelnen Höhenkurbeln wird die rechts der Mitte der vorderen Tidenplatte hinter dem Wasserstandszeigerblatt befindliche Leitscheibe rechts oder links herumgedreht. Sie ist auf der durch die Mitte des Wasserstandszeigerblattes hindurchgehenden Achse angebracht, die vorn den leichten, auf dieser verstellbaren Wasserstandszeiger trägt. Die Stellung des Zeigers kann an dem 270 mm im Durchmesser betragenden Zeigerblatt abgelesen werden, dessen Teilung einem Tidenhub von 12 m entspricht, von 2 zu 2 cm Striche aufweist und von 10 zu 10 cm beziffert ist. Der ringförmige Teilkreis des Wasserstandszeigerblattes ist um seinen Mittelpunkt drehbar angebracht; durch eine Klemmscheibe wird er in einer dem mittleren Wasserstande entsprechenden Stellung festgehalten. Um die Achse der Leitscheibe sind ferner am Wasserstandszeigerblatt zwei frei drehbare, gegeneinander auf Reibung festsitzende messingene Hilfszeiger angebracht, die sich bei der hin- und herschwingenden Bewegung des Wasserstandszeigers selbsttätig auf die Hoch- und Niedrigwasserhöhe einstellen, indem ein am Wasserstandszeiger angebrachter Stift den einen von beiden Hilfszeigern mitführt und ihn beim Wiederzurückgehen stehen läßt, bis er den zweiten Hilfszeiger erreicht hat und diesen mitführt. Durch Ausbuchtungen der Hilfszeiger wird erreicht, daß die Hauptzeigerspitze beim Mitführen die Hilfszeigerspitze zur Deckung bringt.

Am Kranz der Leitscheibe ist in der zweiten Nute laufend eine Schnur befestigt, die nach unten über zwei am oberen Teile des Zeichenwerkes fest angebrachte Rollen läuft und die Bewegung der Leitscheibe auf einen im Zeichenwerk an drei Silberstahlstangen senkrecht auf- und niedergehenden Zeichenwagen überträgt. Das Gewicht des leichten Zeichenwagens ist durch Zusatzgewichte so stark erhöht, daß der Wagen gleichzeitig dazu dient, die Höhenkette dauernd unter der gleichen Spannung zu halten.


Digitized by Google

Um die jedem errechneten Wasserstande zugehörige Zeit ablesen zu können, ist das an der Vorderseite der Maschine links der Mitte angebrachte Zeitwerk mit einem zweiten gleich großen Zeigerblatte versehen, das in 12 Stunden geteilt, von 2 zu 2 Minuten Striche besitzt und von 10 zu 10 Minuten beziffert ist. Der zugehörige Zeitzeiger ist auf der Stundenachse verstellbar befestigt, die durch Vermittlung von Zahnrädern, zwei Kegelrädern und Schnecke und Schneckenrad mit der ersten Grundgeschwindigkeit im linken unteren Ellipsenviertel angetrieben wird. Der Stundenachse ist ferner ein Kegelrad aufgesetzt, das nach links hin eine Scheibe mit der abwechselnden Bezeichnung „*V*“ und „*N*“ zur Kennzeichnung von Vormittag und Nachmittag alle 12 Stunden um einen Zahn weiterdreht und das nach rechts hin eine Trommel mit Stiften alle 24 Stunden um einen Zahn vorrückt und dadurch ein Monatstagband vorschiebt, das gleichzeitig durch Federkraft auf eine Walze aufgewickelt wird.

Vor Beginn der Vorausberechnungen für einen Hafen werden die Höhenkurbelzapfen mittels der Mikrometerschrauben alle gemäß den Amplituden R_x der Tiden, die für jenen Hafen von Bedeutung sind, eingestellt. Die Höhenkurbeln selbst werden durch die an den Tidenkopfscheiben befindlichen Wirbel mit kleinen Schlüsseln in solchen Ausgangsstellungen festgeklemmt, die den diesen Tiden zugehörigen Phasen entsprechen. Wenn die Maschine nun in Bewegung gesetzt wird, läuft der Zeitzeiger mit gleichförmiger Geschwindigkeit über dem Zeigerblatt herum, während sich gleichzeitig der Höhenzeiger über dem Wasserstandszeigerblatt abwechselnd rechts und links herum bewegt.

Die Höhe kann nun für jeden gewünschten Zeitpunkt abgelesen werden; die in den Gezeitentafeln gegebenen Vorausberechnungen sind jedoch auf die Hochwasser und Niedrigwasser beschränkt; die Zeiten und Höhen dieser sind daher für diesen Zweck die einzigen Ablesungen, die von dem vor der Maschine an einem zweckmäßig gebauten Pult sitzenden Beobachter zu machen sind.

Da die Höhen der Hoch- und Niedrigwasser die Höchst- und Niedrigstwerte der Gezeitenkurve darstellen, finden die Zeiten der Hoch- und Niedrigwasser, wie bereits oben angegeben ist, dann statt, wenn die erste Ableitung der harmonischen Ausdrücke für die Höhe ihre Nullstellen erreicht. Diese erste Ableitung in Gleichung 3) stellt eine ähnliche Reihe von harmonischen Ausdrücken dar wie Gleichung 2) mit dem Unterschiede, daß die Anfangsphasen der harmonischen Glieder in Gleichung 3) um 90^0 von den Phasen in Gleichung 2) verschieden sind und die Amplituden noch mit den Winkelgeschwindigkeiten vervielfacht erscheinen.

Daher sind an der hinteren Tidenplatte auf den Tidenachsen den vorderen ähnliche Tidenköpfe angebracht, deren gabelförmige Zeitkurbeln rechtwinklig zu den an der Vorderseite befindlichen Höhenkurbeln auf den hohlen Tidenachsen befestigt sind. Eine Vorrichtung zum Berichtigen dieses rechten Winkels ist an der Zeitkurbel vorgesehen. Innerhalb der gabelförmigen Zeitkurbel ist auf einem Stahlzylinder ein Gleitbacken verschiebbar angebracht, der selbsttätig auf die richtige Entfernung von der Tidenkopfachse geschoben wird, sobald an der Vorderseite der Maschine die Mikrometerschraube eingestellt wird. Das Mutterstück der Höhenkurbel ist zu diesem Zwecke mit einer Zahnstange versehen, in die ein Zahnrad eingreift, das seinerseits den Kopf einer durch die hohle Tidenachse gesteckten Stahlachse bildet. Am hinteren Ende dieser Achse ist ein Zahnrad befestigt, das unmittelbar oder durch Vermittlung von Zahnrädern eine Zahnstange bewegt, die die Gleitbacke des hinteren Tidenkopfes im richtigen Verhältnis einstellt.


Digitized by Google

Leider hat sich diese sinnreiche Vorrichtung der selbsttätigen Einstellung der Amplituden auf der Rückseite der Maschine von ihrer Vorderseite aus in ihrer jetzigen Gestalt nicht bewährt; auch ist es nicht möglich, den durch die Übertragungen auftretenden toten Gang ganz zu vermeiden oder unschädlich zu machen. Daher ist jetzt eine Entfernung der Übertragungseinrichtung vorgesehen, die dadurch ersetzt werden soll, daß die Einstellung der Amplituden an der Rückseite der Maschine in gleicher Weise wie an der Vorderseite durch eine Mikrometerschraube geschieht. Obwohl hierdurch die Einstellarbeit vermehrt wird, erscheint die Umänderung zweckmäßig und notwendig, um die Genauigkeit, mit der die Maschine die Hoch- und Niedrigwasserzeiten zu liefern imstande ist, zu erhalten oder zu erhöhen.

Die Bewegung und Führung der Zeitkettenräder entspricht genau der der Höhenkettenräder. Das eine Ende der Zeitkette ist wieder an einem Bock, der mit einer Vorrichtung zur Grob- und Feineinstellung dieses Endes der Zeitkette versehen ist, befestigt. Die Zeitkette ist dann abwechselnd über oder unter sämtliche Nuten enthaltende Zeitkettenräder und Hilfskettenräder geführt und endet in einer Nute auf einem Schlußleitrad; dieses führt in einer zweiten Nute einen Faden mit Gewicht, das die Zeitkette dauernd gleichmäßig spannt. Das Schlußleitrad trägt ferner einen verstellbaren Stift, der in bestimmter Stellung, der Nullstellung für die erste Ableitung, durch Berühren eines an der hinteren Tidenplatte auf einem Bock befestigten, federnden Anschlags einen elektrischen Stromkreis schließt; dieser bringt auf dem Schaltbrett an der linken Seite der vorderen Tidenplatte eine Glocke stoßmäßig zum Ertönen. In diesem Augenblicke tritt ein Hoch- oder Niedrigwasser ein, dessen Zeit auf dem Zeitzeigerblatt beobachtet und nebst der an dem einen der beiden Hilfszeiger auf dem Wasserstandszeigerblatt abgelesenen Höhe in einen passend hergerichteten Vordruck eingetragen wird.

Da gerade die Beobachtung der Hochwasser- und Niedrigwasserzeit am Zeitzeigerblatt der Maschine noch eine gewisse Begabung des Beobachters voraussetzt, ist beabsichtigt, eine Vorrichtung ausführen zu lassen, die gestattet, die von der Maschine durch das Klingelzeichen gegebene Zeit durch einen Hilfszeiger noch eine gewisse Zeit nach diesem Zeichen festzuhalten, ohne den Lauf der Maschine zu unterbrechen. Bei manchen Häfen, z. B. solchen, bei deren Gezeitenkurven zeitweise wagerechte Wendetangenten oder doppelte Hoch- oder Niedrigwasser auftreten, würde die Beobachtung ferner dadurch erleichtert werden, daß das Schlußleitrad der Zeitkette ebenfalls an der Vorderseite der Maschine angebracht würde.

Wird ein Klingelzeichen verpaßt oder unsicher beobachtet, so kann die Beobachtung sofort wiederholt werden, da hier als Antriebsmaschine ein Wendepolmotor für Gleichstrom (220 V Spannung) verwandt wird; durch eine einfache Umschaltung kann die Maschine dann für eine kurze Zeit rückwärts angetrieben werden, um nach Wiederumschaltung die Beobachtung erneut zu erlauben. Um beim Einschalten und Umschalten des Motors, wie bei zufällig auftretenden Störungen im Getriebe der Maschine Brüche von Zähnen zu vermeiden, ist zwischen der Antriebsmaschine und dem Vorgelege ein drehbares Zwischenglied eingeschaltet; dies besteht aus einem scheibenförmigen, auf der Motorachse sitzenden Gehäuse, das eine auf der Antriebswelle der Maschine befindliche Scheibe umschließt und durch Federdruck und Reibung mitnimmt. Da diese Vorrichtung noch zu hart wirkt, ist der Antriebsmaschine ein Anlasser vorgeschaltet, der gleichzeitig der Maschine jede gewünschte Betriebsgeschwindigkeit geben kann.

Bei allen den Häfen, bei denen die Summe der Amplituden aller zu berück-


Digitized by Google

sichtigenden Tiden weniger als 3 m beträgt, werden die doppelten, dreifachen, . . ., *n*-fachen Amplituden an den Mikrometerschrauben eingestellt; die Zahl *n* wird so gewählt, daß *n* mal der Summe aller Amplituden 6 m möglichst nicht oder nur wenig übersteigt. Um ein Teilen der an der Maschine erhaltenen Höhen durch die Zahl *n* zu vermeiden, müßten der Maschine mehrere auswechselbare Wasserstandszeigerblätter beigegeben werden, an denen die richtige Höhe gleich abgelesen werden kann.

Das dem Vorgelege der Maschine vorgelagerte Zeichenwerk hat die Kurve zu entwerfen, die die Gezeiten zeichnerisch darstellt. Die Kurve kann verwandt werden, um bei verwickelten Gezeiten die an den beiden Zeigerblättern gemachten Beobachtungen zu bestätigen, oder um die Höhen der Gezeiten zu bestimmten Zwischenzeiten oder auch die Zeiten zu erhalten, die bestimmten Höhen entsprechen. Einen hohen Wert erlangt eine solche berechnete Gezeitenkurve, wenn sie dazu verwandt wird, die aus einem Beobachtungszeitraum durch die harmonische Analyse erlangten harmonischen Konstanten durch den Vergleich der für diesen Zeitraum berechneten Höhen mit den Beobachtungen nachzuprüfen. Noch wertvoller wird eine vorausberechnete Gezeitenkurve, wenn sie, wie es auf der Deutschen Seewarte geschieht, als Aufzeichnungspapier für eine elektrische Pegelfernübertragung dient, wodurch die Möglichkeit geschaffen ist, die augenblicklichen Wasserstände fortlaufend mit den Vorausberechnungen zu vergleichen und Schlüsse auf die Einwirkung des Windes auf die Gezeiten zu ziehen[1]).

Die berechnete Wasserstandskurve wird auf einem etwa $^1/_2$ m breiten Papierstreifen von etwa 210 m Länge aufgezeichnet, der für die Darstellung der Gezeitenkurve eines Jahres und eines Ortes genügt. Das Papier bewegt sich von der Vorratstrommel an der Fördertrommel vorbei zur Aufwickeltrommel, die wie die erste unten eine breite Messingscheibe als Auflagefläche für das Papier besitzt. Die Geschwindigkeit der Papierführung durch das Zeichenwerk, dessen Fördertrommel von der Verteilungswelle des Vorgeleges durch Vermittlung einiger Kegelräderpaare und einer Schnecke mit Schneckenrad angetrieben wird, beträgt 24 mm für jede Stunde der Aufzeichnung. In diesen Abständen den beiden Rändern der Fördertrommel eingesetzte Spitzenschrauben führen zwangsweise das Papier mit, das zwei dünne, mit Löschpapier umgebene Walzen der Fördertrommel andrücken.

Da der Papierstreifen in der ersten Zeit leicht schief durch das Zeichenwerk lief, weil die vorn unter der Vorratstrommel schleifende Bremsfeder zu schwach war, ist unten hinter der Vorratstrommel eine neue Bremsvorrichtung angebaut worden. In einer unter der Trommelscheibe am Rahmenwerk des Zeichenwerkes eingeschraubten Buchse bewegt sich senkrecht ein unten geschlitzter Bolzen, der oben als Kopfstück eine aus hartem Holz gefertigte Bremsbacke trägt. Diese wird dadurch an die Trommelscheibe gepreßt, daß in das unten geschlitzte Ende des Bolzens der kurze Schenkel eines wagerechten, ungleicharmigen Hebels eingreift, dessen Drehpunkt unter dem Rahmenwerk liegt. Der lange Schenkel des Hebels ist an seiner Unterseite mehrfach eingekerbt. In eine dieser Einkerbungen faßt ein Stift, der das untere Ende eines gabelförmig ausgefrästen Stückes quer so verschließt, daß der Grund der Ausfräsung auf dem Oberteil des langen Hebels aufliegt. Das gabelförmige Stück trägt einen gekröpften Arm, auf dem sich ein Gewicht verschieben läßt. Durch Verstellen des Gewichtes und des Gabelstückes, das wegen Platzmangel beim Beobachten

[1]) H. Rauschelbach, Über eine elektrische Pegelfernübertragung. *Annalen der Hydrographie usw. 1924. Juli- nnd Augustheft.*


Digitized by Google

der Zeigerblätter abnehmbar sein muß, kann die auf die Bremse wirkende Kraft in weiten Grenzen geändert werden.

Zwei beliebig an einer senkrechten Stahlstange feststellbare Schreibröhrchen ziehen nahe den Rändern des Papiers Linien, die bestimmten Bezugsebenen entsprechen, und bringen zu Beginn einer jeden Stunde einen kleinen Zahn (‾‾|_|‾‾) auf den Linien hervor; dies wird dadurch erreicht, daß auf der Zeitzeigerachse eine Scheibe aus nichtleitendem Stoff mit zwölf leitenden Lamellen angebracht ist, die bei der vollen Stundenstellung des Zeitzeigers durch Berühren eines federnden Hebels einen Stromkreis schließen. Hierdurch wird ein Elektromagnet betätigt, der die Stahlstange, an der die Schreibröhrchen angeordnet sind, für die Dauer des Stromschlusses nach unten zieht. Nach dem Unterbrechen des Stromes zieht ein am oberen Ende der Stange befestigtes, über eine kleine, am Gehäuse des Zeichenwerkes angebrachte Rolle laufendes Kettchen mit einem Gegengewicht die Stange wieder nach oben zurück. Um den Beginn und das Ende der Ausbuchtungen möglichst senkrecht zur Bewegungsrichtung des Papierstreifens zu erhalten, ist hier noch eine kleine, einfache Vorrichtung am unteren Ende der Stange geschaffen worden, die die Beschleunigung der Bewegung der Stange in dieser Beziehung regelt.

Ein drittes Schreibröhrchen ist an dem Zeichenwagen angebracht und bewegt sich entsprechend dem Steigen und Fallen des errechneten Wasserstandes auf und nieder. In Verbindung mit dem gleichzeitigen Vorwärtsbewegen des Papiers erzeugt es die vorausberechnete Gezeitenkurve im Maßstab 1 : 25. Kurven in anderen Maßstäben lassen sich leicht durch Änderung der Einstellungen an den Mikrometerschrauben der Tidenköpfe erhalten.

Die bisher benutzten Schreibröhrchen, die wagerecht in kleine aufgeschlitzte Messingröhrchen gesteckt werden, bestehen aus dünnen Glasröhrchen, deren eines Ende zur Aufnahme der Schreibtinte rechtwinklig nach oben gebogen und zu einer kleinen Kugel ausgeblasen ist, und deren anderes Ende zur Aufzeichnung in eine feine Spitze ausläuft. Wegen der leichten Zerbrechlichkeit dieser Röhrchen beim Einsetzen und beim Reinigen ihrer Spitzen sind hier kleine metallene Schreibröhrchen hergestellt worden, die noch weiter vervollkommnet werden sollen.

Das Zeichenwerk wird durch Andrehen einer Flügelschraube in Gang gesetzt, die seitlich an einer kleinen Kupplung sitzt, die sich auf der wagerecht liegenden Achse zwischen dem Vorgelege und der die Fördertrommel antreibenden Schnecke befindet. Da durch die Reibung in der Kupplung auch bei Leerlauf dieselbe etwas mitgedreht wird, wird jetzt ein Stück Flachmessing, das an dem einen Ende am Träger des Zeichenwerkes durch Bolzen und Flügelmutter beliebig festgesetzt werden kann, mit dem anderen Ende, das ösenförmig ausgebildet ist, über die Flügelschraube der Kupplung gelegt.

Was von einem erfahrenen Rechner in Monaten nur zu errechnen ist, wird durch die Gezeitenrechenmaschine in 10 bis 15 Stunden geleistet. In dieser Zeit läßt sich das Einstellen der Amplituden und Phasen der harmonischen Konstanten an den Schrauben und Kreisen, die Vorausberechnung und das Eintragen der etwa 1400 Hoch- und Niedrigwasser eines Jahres in die Vorlagen von einem geübten Beobachter ausführen. Die Höchstleistung, die mit der deutschen Gezeitenrechenmaschine in einem Jahre bei ununterbrochenem Betrieb zu erzielen ist, sind, die notwendige Anzahl von Beobachtern vorausgesetzt, die ausführlichen Vorausberechnungen von 800 bis 900 Häfen für 1 Jahr.


Digitized by Google

Übersicht über die an der deutschen Gezeitenrechenmaschine darstellbaren Tiden.

Tide	Stündliche Winkelgeschwindigkeit	Bedeutung der Tide
M_2	28°,9841042	Halbtägige Haupt-Mondtide
S_2	30°,0000000	Halbtägige Haupt-Sonnentide
K_2	30°,0821372	Halbtägige Mond-Sonnentide
N_2	28°,4397296	Größere halbtägige, elliptische Mondtide
L_2	29°,5284788	Kleinere halbtägige, elliptische Mondtide
ν_2	28°,5125830	Größere halbtägige Evektionstide
λ_2	29°,4556254	Kleinere Evektionstide
μ_2	27°,9682084	Halbtägige Variationstide
$2SM_2$	31°,0158958	Halbtägige Verbundtide aus S_4 und M_2
K_1	15°,0410686	Eintägige Mond-Sonnentide
O_1	13°,9430356	Eintägige Mondtide
P_1	14°,9589314	Eintägige Sonnentide
Q_1	13°,3986609	Größere eintägige, elliptische Mondtide
J_1	15°,5854433	Kleinere eintägige, elliptische Mondtide
SO_1	16°,0569644	Eintägige Verbundtide aus S_2 und 0_1.
M_4	57°,9682084	Vierteltägige Haupt-Mondtide
MS_4	58°,9841042	Vierteltägige Verbundtide aus M_2 und S_2
MN_4	57°,4238338	Vierteltägige Verbundtide aus M_2 und N_2
S_4	60°,0000000	Vierteltägige Sonnentide
M_6	86°,9523126	Sechsteltägige Haupt-Mondtide

Ein neues lichtelektrisches Sternphotometer.

Von

P. Guthnick in Neubabelsberg.

Der vor einigen Monaten in seinen Hauptteilen vollendete Zeiss-Reflektor der Sternwarte Babelsberg ist in erster Linie zu spektrographischen und lichtelektrischen Untersuchungen an spektroskopischen Doppelsternen und anderen Himmelsobjekten bestimmt. Während die von der Firma Zeiss gebaute spektrographische Einrichtung, die zunächst auf einen Einprismen-Spektrographen mit Zubehör beschränkt werden mußte, zwar vollendet, aber noch nicht abgeliefert worden ist, konnte das lichtelektrische Sternphotometer angebaut und in Betrieb genommen werden. Ich möchte im folgenden diesen Apparat, der gegen das ältere, in den *Veröffentlichungen der Sternwarte Babelsberg* beschriebene Modell einige Erweiterungen seiner Verwendungsmöglichkeiten besitzt, besprechen.

Die Konstruktion des Reflektors gestattet den unmittelbaren Übergang von den spektrographischen Beobachtungen zu den lichtelektrischen und umgekehrt ohne Auswechslung der Apparate und infolgedessen ohne merklichen Zeitverlust, indem für jeden der beiden Apparate, die im Cassegrain-Fokus des Reflektors gebraucht werden, eine besondere Beobachtungsöffnung seitlich am unteren Ende des Tubus vorgesehen ist. Nach Art der amerikanischen Reflektoren auf dem Mount Wilson ist statt der zentralen Durchbohrung des Hauptspiegels ein unter 45° gegen die optische Achse des Reflektors geneigter Planspiegel dicht über der Mitte des Hauptspiegels angebracht, der die von dem Konvexspiegel kommenden Strahlen seitlich reflektiert. Dieser Planspiegel ist bei dem Babelsberger Reflektor von außen bequem um die optische Achse des Hauptspiegels drehbar, und die Drehung ist durch zwei



justierbare Anschläge begrenzt, die den beiden Beobachtungsöffnungen entsprechen. Die eine Öffnung wird für den in einem Traggerüst hängenden, dauernd anmontierten Sternspektrographen gebraucht, die andere kann nach Belieben für visuelle, photographische, lichtelektrische oder sonstige Arbeiten benutzt werden. Gegenwärtig ist an diese Öffnung meistens das neue lichtelektrische Photometer angesetzt (Fig. 1). Infolge dieser Einrichtung ist es möglich, von einem Stern abwechselnd Spektrogramme aufzunehmen und lichtelektrische Helligkeitsmessungen zu erhalten, die also zeitlich fast zusammenfallen, was für die Erforschung des Zusammenhanges von Helligkeitsänderungen und Radialgeschwindigkeitsschwankungen oder sonstigen spektralen Veränderungen von großem Wert ist.

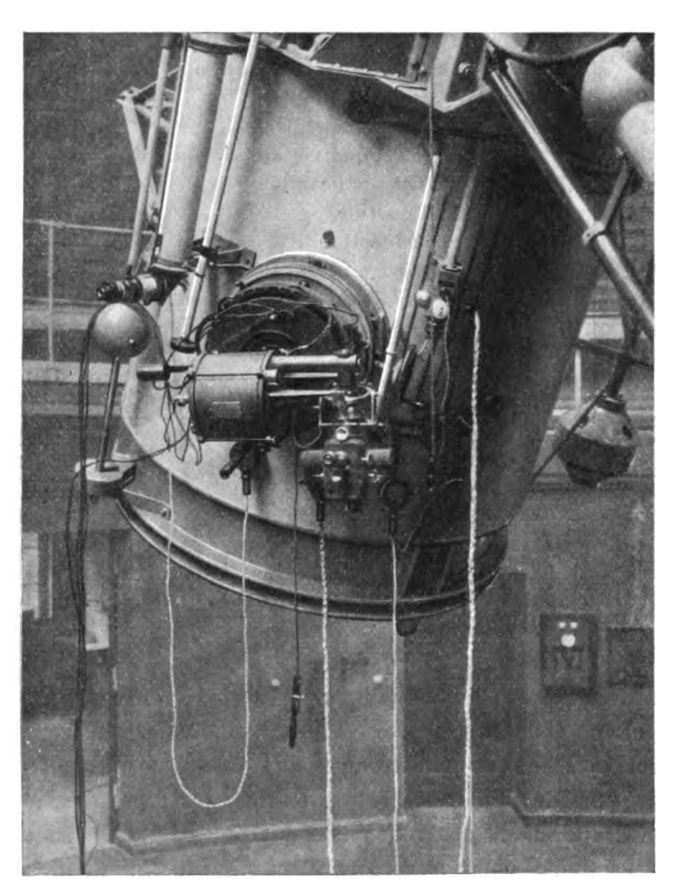


Fig. 1. Das untere Ende des 125 cm-Reflektors mit dem lichtelektrischen Sternphotometer an der einen Okularöffnung. Die andere Okularöffnung ist vom Beschauer abgewandt; es ist links oben ein Teil des Spektrographengerüstes sichtbar.

Das neue lichtelektrische Photometer (Fig. 2, 3, 4), das nach meinen Wünschen, ebenso wie das ältere Modell, von der Firma Günther & Tegetmeyer in Braunschweig gebaut wurde, enthält statt einer Photozelle deren vier, die alle ohne weiteres nach Belieben sofort in Betrieb genommen werden können, indem sie zu diesem Zweck beständig unter der Spannung gehalten werden, unter der man sie gebrauchen will. Dies wird auf folgende Weise erreicht.

Die wie bei dem älteren Apparat zylinderförmige Zellenkapsel hat ihr Fenster, durch das hindurch die grade benutzte Zelle belichtet wird, nicht mehr in der Mitte einer der beiden ebenen Grundflächen, sondern in der Zylinderwand (Fig. 6). Mit diesem seitlichen Fenster wird die Kapsel mittels Bajonettverschlusses an die Okularplatte des Reflektors angesetzt. Die Okularplatte ist in Position drehbar, so daß auch die Kapsel um die zur Okularplatte senkrechte optische Achse gedreht werden kann, was des Elektrometers wegen notwendig ist. Ich komme nachher noch auf diesen Punkt zu sprechen. Die zur optischen Achse senkrechte geometrische Achse der Kapsel wird von einer drehbaren Walze eingenommen, auf der im Innern der Kapsel vier Zellen montiert sind, die durch vier metallene, ebenfalls auf der Walze befestigte Scheidewände voneinander getrennt werden (Fig. 3, 5, 6). Vier Anschläge bestimmen die vier Stellungen der Walze, bei denen je eine der vier Zellen gerade gegenüber dem Fenster der Kapsel liegt und durch dieses hindurch vom Fernrohr her

Digitized by Google

belichtet werden kann. Die vier drehbaren Quadranten des Kapselinnern werden beiderseits durch ebenfalls mit der Walze fest verbundene kreisförmige Metallscheiben abgeschlossen (Fig. 5, 6). Die eine dieser Scheiben trägt vier voneinander isolierte Schleifringe, auf denen vier Schleiffedern mit Platinkontakten laufen, die isoliert in die entsprechende feste ebene Kapselwand eingelassen sind (Fig. 5). Jede dieser Schleiffedern steht nach außen hin durch die Kapselwand hindurch mit je einer Klemme in Verbindung, an die die gewünschten negativen Spannungen für die Zellenkathoden gelegt werden (Fig. 3). Nach innen, in den drehbaren Teil der Kapsel, gehen von den Schleifringen Leitungen zu den Zellenkathoden. Auf diese Weise

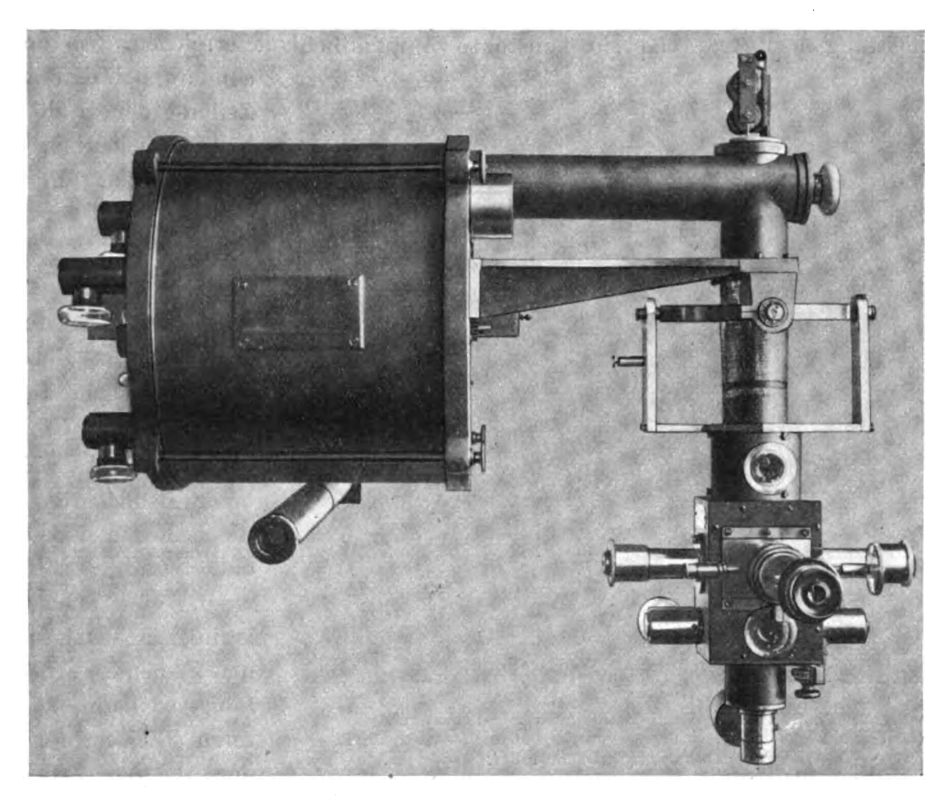


Fig. 2. Das lichtelektrische Sternphotometer. Vorderansicht.

kann jede Zelle mittels ein und derselben Akkumulatorenbatterie beständig auf der Spannung gehalten werden, die für ihren Betrieb gewünscht wird. Da im allgemeinen die Entladungspotentiale der verschiedenen Zellen sehr verschieden sind, so werden die Arbeitsspannungen für die einzelnen Zellen in der Regel ebenfalls sehr verschieden sein. Man wird zweckmäßig den Schutzwiderstand für die Zellen nicht in die Leitung vom positiven Endpol der Zellenbatterie zur Erde legen, obwohl man dann nur einen solchen Widerstand nötig hätte, sondern je einen Widerstand in jede der Zuleitungen von der Batterie zu den vier Zellen. Die andere der beiden auf der drehbaren Walze sitzenden runden Scheiben trägt vier isolierte Schleiffedern, denen in der anliegenden ebenen äußeren festen Kapselwand vier Kontaktstellen von etwa 10 mm Durchmesser entsprechen (Fig. 6). Von diesen Kontaktstellen ist nur eine isoliert; sie steht in leitender Verbindung mit dem Faden des Elektrometers (Typus Wulf); die anderen sind unmittelbar in die geerdete Kapselwand eingeschraubt. Von den vier Schleif-

Digitized by Google

federn gehen nach innen Leitungen zu den Anoden der vier Zellen. Diejenige der Zellen, die gegenüber dem Kapselfenster steht, also gerade gebraucht wird, steht mittels ihrer Schleiffeder in Verbindung mit dem Elektrometer, während gleichzeitig die Anoden der drei anderen, nicht benutzten Zellen mittels ihrer Schleiffedern geerdet sind. Will man eine andere Zelle benutzen, so braucht man die drehbare Walze nur bis zu dem entsprechenden Anschlag zu drehen, was wenige Sekunden in Anspruch nimmt, und die Messung mit der neuen Zelle kann dann sofort beginnen. Diese Einrichtung ist aus dem Grunde nötig, weil bekanntlich die Zellen nach frisch angelegter Spannung nicht sofort gebrauchsfähig sind, sondern einer mehr oder weniger langen Zeit bedürfen, um zur Ruhe zu kommen. Zellen, die außerdem einer gewissen Vorbelichtung bedürfen, ehe sie konstante Empfindlichkeit erreichen, wie das besonders bei den älteren Zellen der Fall war, können natürlich nicht mit Vorteil in dem neuen Apparat verwendet werden.

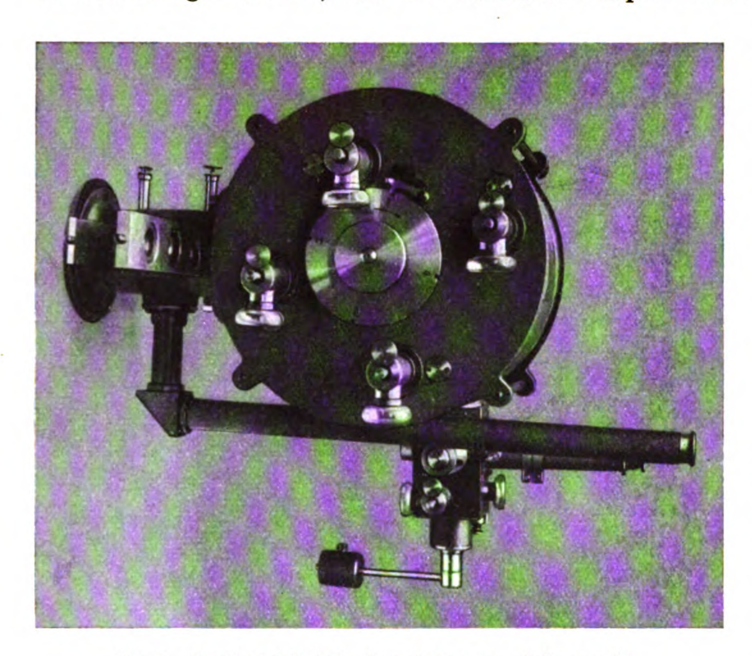


Fig. 3. Das lichtelektrische Sternphotometer. Seitenansicht. Die vier Kathodenklemmen, das Einstellfernrohr und die Schieber für die Gesichtsfeldbegrenzung und die Filter.

Die Vorzüge des Vierzellen-Apparates gegenüber dem Einzellen-Apparat liegen auf der Hand:

1. Wird während einer Beobachtungsreihe die benutzte Zelle durch eine zufällige Störung, z. B. eine Leuchtentladung, für den betreffenden Abend arbeitsunfähig, so kann ohne weiteren Zeitverlust eine der anderen Zellen zur Fortsetzung der Beobachtungen benutzt werden. Man muß nur die Reduktion der beiden Zellen aufeinander kennen. Bei dem alten Apparat bedeutete eine solche Störung meistens den Verlust des Restes des Beobachtungsabends.

2. Manche Aufgaben der Astrophotometrie machen es erwünscht, die Messungen gleich in mehr als einem Spektralgebiet vorzunehmen. Dies ist z. B. der Fall bei denjenigen veränderlichen Sternen, deren Helligkeitsschwankungen in den verschiedenen Spektralgebieten verschieden sind. Bei nur einer Zelle ist das nur durch die Anwendung von Farbfiltern erreichbar, was mit mehr oder weniger erheblichem Lichtverlust verbunden ist. Bei dem neuen Apparat wird man zweckmäßig zwei Zellen möglichst verschiedener selektiver Empfindlichkeit benutzen, z. B. eine Natrium- und eine Rubidiumzelle.

3. Handelt es sich um die Messung sehr schwacher Objekte an der Grenze der Erreichbarkeit, so wird man bei rotgefärbten Objekten vielleicht mit der Rubidiumzelle noch etwas weiter gelangen als mit der Kaliumzelle, obwohl die letztere, ab-


Digitized by Google

gesehen von individuellen Unterschieden, im ganzen etwas empfindlicher ist als die erstere.

4. Für die Bestimmung von Farbenäquivalenten ist es wesentlich, ohne allzuviel Lichtverlust möglichst verschiedene Spektralgebiete zu erfassen. Dies erreicht man zweckmäßiger durch die Verwendung zweier Zellen möglichst verschiedener selektiver Empfindlichkeit in Verbindung mit schwachen, die effektive Gesamthelligkeit nur wenig herabsetzenden Farbfiltern, als durch die Verwendung nur einer Zelle mit stärkeren, die Gesamthelligkeit erheblich vermindernden Filtern. Die Vorteile der Benutzung mehrerer Zellen treten besonders dann hervor, wenn man drei verschiedene Spektralgebiete erfassen will. Eine geeignete Kombination wäre in diesem Falle: Rubidiumzelle + Gelbfilter, Kaliumzelle ohne Filter, Natriumzelle + Blaufilter.

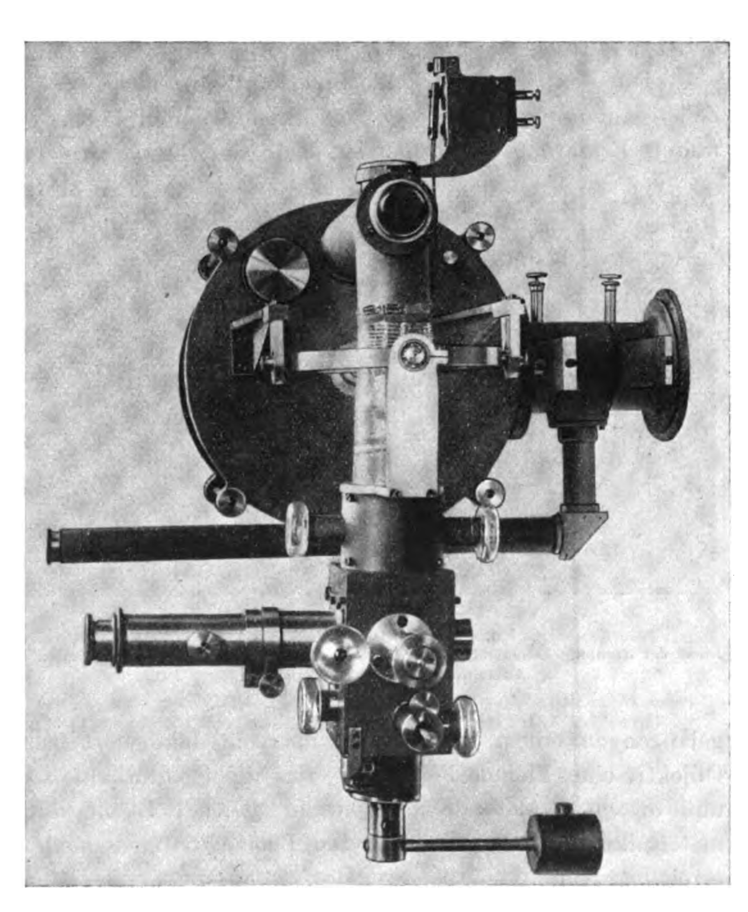


Fig. 4. Das lichtelektrische Sternphotometer. Seitenansicht. Das Elektrometer und die Vorrichtung zur Erdung des Elektrometerfadens.

Die Besonderheiten des Reflektors, an dem das neue lichtelektrische Photometer gebraucht werden soll, erforderte eine gegen den älteren Apparat etwas abgeänderte Aufhängung des Elektrometers. Die eine feste Ebene der Zellenkapsel trägt senkrecht zu ihrer Ebene zwei kräftige Arme, die an ihrem freien Ende das in Kugellagern leicht drehbare kardanische Gehänge für das Elektrometer halten (Fig. 2, 4). In diesem hängt das Elektrometer freischwingend senkrecht herunter. Durch Drehung der Okularplatte und damit des ganzen Apparates um die optische Achse kann man es in jeder Lage des Reflektors erreichen, daß die beiden Träger des kardanischen Gehänges horizontal liegen, wodurch merkliche Beeinflussungen der Vertikallage des Elektrometers und damit der Ruhelage des Elektrometerfadens vermieden werden. Die Zuleitung von der Zellenanode zu dem Elektrometerfaden ist durch ein weites geerdetes Rohr elektrostatisch geschützt (Fig. 2, 4). Im Drehungsmittelpunkt des Gehänges ist die starre Leitung wie bei dem älteren Apparat durch ein Kugelgelenk unterbrochen, bestehend aus einer Kugel an dem unteren Ende des oberen Teiles der Leitung, gegen die das in eine hohle Halbkugel auslaufende obere Ende des unteren Teiles der Leitung mittels Federdruckes gepreßt wird. Der elektrostatische

Digitized by Google

Schutz dieses Teiles der Zuleitung zum Elektrometerfaden erfolgt bei dem neuen Apparat abweichend von dem älteren durch ein feines, biegsames, dichtes Metallnetz, das oben an einem über das feste Schutzrohr schiebbaren Metallring befestigt ist und unten um den Rohrstutzen des Elektrometers zusammengebunden wird (Fig. 2, 4). Eine eingehende Prüfung der Wirksamkeit dieses versuchsweise angewandten Schutzes muß vorbehalten bleiben. Sollte diese Einrichtung Kapazitätsänderungen verursachen, so kann die Einrichtung des älteren Apparates, die in einem teleskopartig zusammenschiebbaren Rohr besteht, auch hier verwendet werden. Die Erdung des Elektrometerfadens geschieht elektromagnetisch in ähnlicher Weise, wie bei dem älteren Apparat (Fig. 4).

Die Zentrierung der Zellen erfolgt auf sehr einfache Weise durch eine auf die Zellen aufzusetzende Brücke mit einem runden Loch, wie es aus der Fig. 6 ohne weitere Erklärung ersichtlich ist. Die Einrichtung zum genauen Einstellen der Sterne auf die Zelle ist im Prinzip die gleiche wie bei dem älteren Apparat. In den Strahlengang, zwischen Zellenkapsel und Okularplatte, kann ein rechtwinkliges Prisma eingeschoben werden, das die vom Stern herkommenden Lichtstrahlen in ein kurzes seitliches Ansatzrohr reflektiert (Fig. 3). Diese durchsetzen in demselben eine achromatische Linse, werden von ihr parallel gemacht und gelangen zu einem zweiten, festen, rechtwinkligen Prisma und von diesem zu dem Objektiv eines kleinen Fernrohres, das dicht unterhalb der Zellenkapsel herauskommt und dessen Okularende ungefähr in gleicher Ebene mit dem Okular des Elektrometermikroskops liegt, so daß dem Beobachter stets beide Okulare gleichzeitig bequem erreichbar sind.

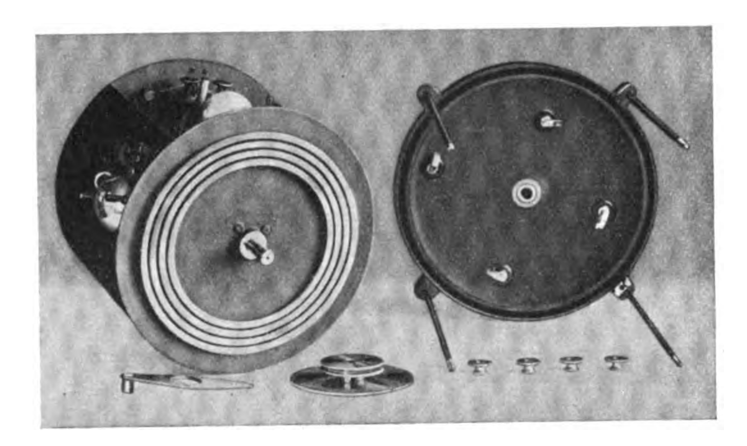


Fig. 5. Inneres der Zellenkapsel.
Links der drehbare Zellenträger mit den Schleifringen, rechts Deckel der festen Außenwand mit den Schleiffedern

Der Cassegrain-Fokus des Reflektors liegt zwischen dem ersten Prisma und der Okularplatte. Hier ist ein Metallschieber mit mehreren, verschieden großen Löchern zur Begrenzung des Gesichtsfeldes eingesetzt (Fig. 3). Jeder Öffnung entspricht ein Anschlag. Die größte Öffnung (Durchmesser 20 mm) dient zur Bestimmung des Himmelsgrundeffektes und wird auch bei der Einstellung der Sterne benutzt; die kleinen (8 und 4 mm) dienen zur Absonderung der zu messenden Objekte. Die entsprechenden Bogenwerte des Gesichtsfelddurchmessers sind 3′, 70″ und 35″. Zwischen dem Prisma und der Zellenkapsel ist ein zweiter Schieber angebracht, der eine Reihe von runden Öffnungen von 30 mm Durchmesser mit Gewinde und Schraubring enthält. Sie dienen zum Einlegen von Farbfiltern oder Abschwächungsmitteln. Da die Abblendung zu heller Objekte durch die große Irisblende des Hauptspiegels wohl nicht hinreichend zuverlässig bezüglich der Konstanz der Abblendungswerte sein wird, und Lochblenden, wie sie für das Objektiv des 31-cm-Refraktors benutzt werden, an dem das ältere Photometer angebracht ist, hier nicht anwendbar sind, so muß

Digitized by Google

die Abschwächung durch Neutralgläser[1]), oder durch Metallgazescheiben erfolgen, die in die Öffnungen des zweiten Schiebers gelegt werden. Die Zweckmäßigkeit dieser Einrichtung muß noch geprüft werden. Die Einstellung der Sterne in das Gesichtsfeld von 3′ Durchmesser läßt sich mittels der Kreise und der elektrischen Feinbewegung des Reflektors schnell und sicher ausführen.

Eine Belichtung der Zellen durch eine konstante künstliche Lichtquelle, die für manche Zwecke erwünscht ist, kann bei dem neuen Photometer auf folgende Weise ausgeführt werden. An Stelle des Okulars des Einstellfernrohres wird eine kleine 4 Volt-Glühlampe mit passender Fassung eingesetzt. Das von ihr ausgehende Licht durchsetzt der Reihe nach das Objektiv des Einstellfernrohres, das zweite Prisma, die erste Linse und das erste (bewegliche) Prisma der Einstellvorrichtung. In dem zuletzt genannten Prisma wird ein Bruchteil des ankommenden Lichtes von der dem Fokus des Reflektors zugewandten Kathete in der Richtung nach der Zellenkapsel reflektiert, durchsetzt die Hypotenuse des Prismas, die in dem neuen Apparat im Gegensatz zu dem älteren nicht versilbert ist, und fällt auf die hinter dem Fenster der Kapsel befindliche Zelle. Da die Belichtung viel zu stark sein würde, so muß in diejenige Öffnung des Filterschiebers, die das Licht passiert, eine kleine Blende von etwa 1 mm Durchmesser, oder besser eine Mattscheibe und ein starkes Filter, eingesetzt werden. Die Lampe wird durch zwei Akkumulatorenzellen gespeist und kann nötigenfalls durch ein Präzisionsamperemeter kontrolliert werden. Mittels dieser Einrichtung kann die Empfindlichkeit der Zellen und die Abhängigkeit der Kapazität des Systems Zelle + Elektrometerfaden von der jeweiligen Lage des Reflektors bequem geprüft werden. Beide, Empfindlichkeit der Zelle und Kapazität, sollten normalerweise möglichst unveränderlich sein, sie bedürfen aber bei jeder Zelle und bei jedem Apparat einer mindestens einmaligen sorgfältigen Untersuchung. Insbesondere gilt dies für die Zellen, die auch in ihrer jetzigen Form durchaus nicht immer die Bedingung konstanter Empfindlichkeit bei konstanter Kathodenspannung erfüllen, sondern häufig bei anhaltender Belichtung, auch wenn sie schwach ist, eine Abnahme der Empfindlichkeit zeigen. Zellen, die diese Ermüdungserscheinung in erheblichem Maße zeigen, sind für astrophotometrische Untersuchungen unbrauchbar. Wegen der Nichtversilberung der Hypotenuse des ersten Prismas ist darauf zu achten, daß am Tage die Okularöffnung des Einstellfernrohres oder die im Strahlengang befindliche Öffnung des Filterschiebers verschlossen ist, um ungewollte Belichtung der Zellen zu vermeiden.

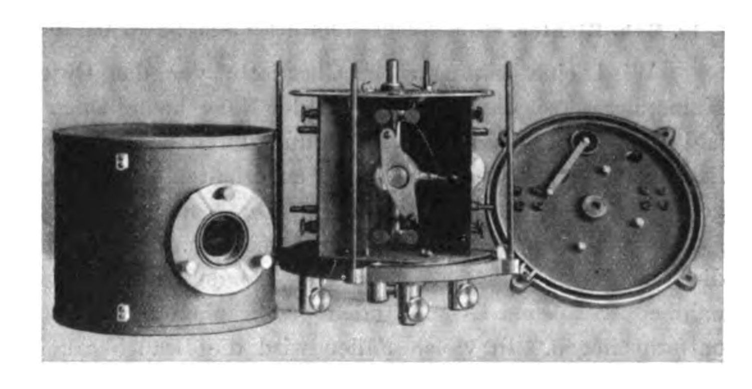


Fig. 6. Inneres der Zellenkapsel.
In der Mitte der drehbare Zellenträger, links die feste Kapselwand mit dem Fenster, rechts der Deckel mit dem Elektrometeranschluß und den drei Erdkontakten.

[1]) Es werden zur Zeit Neutralfilter von Zeiss probeweise benutzt, die aus mittels Kathodenzerstäubung platinierten Glasplatten mit Deckplatten bestehen. Sie scheinen dem idealen Neutralfilter innerhalb des in Betracht kommenden Spektralbereiches sehr nahe zu kommen.

Digitized by Google

Über die Lichtstärke des neuen Apparates, d. h. über die schwächsten mit ihm am 125 cm-Reflektor noch meßbaren Helligkeiten, kann ich ein abschließendes Urteil noch nicht abgeben. Sie hängt ja, abgesehen von der individuellen Empfindlichkeit der benutzten Zellen, wesentlich von der Kapazität des Systems ab, die bei dem neuen Apparat notwendig etwas größer geworden ist als bei dem einfachen älteren. Jedoch ist bereits aus den bisherigen Prüfungen zu ersehen, daß mit normalen Zellen die 9. photographische Größe sicher, die 10. wahrscheinlich erreichbar sein wird. Dies bedeutet eine enorme Erweiterung des bisherigen Arbeitsfeldes des lichtelektrischen Photometers.

Neubabelsberg, den 29. April 1924.

Eine Methode, die Wirkung afokaler Vorsatzplatten auf die Einstellung photographischer Kameras zu vermindern.

Von

Dr. Rob. Richter, wissenschaftlichem Mitarbeiter der optischen Anstalt C. P. Goerz A.-G in Berlin-Friedenau

Wird eine planparallele Glasplatte vor das Objektiv einer photographischen Kamera gesetzt, die auf einen in der Nähe befindlichen Gegenstand scharf eingestellt ist, so geht die Schärfe der Abbildung durch das Davorsetzen der Glasplatte bekanntlich verloren, und um sie wieder zu erhalten, müßte die Kamera von neuem eingestellt werden.

Unter Umständen ist es nicht möglich, die Kamera neu einzustellen, nachdem die Vorsatzplatte davor gebracht ist, so daß man sich auf die photographische Aufnahme von solchen Gegenständen beschränken muß, die weit genug von der Kamera entfernt liegen. In vielen Fällen wird die Brauchbarkeit einer solchen Vorsatzplatte durch diese Einschränkung nicht verringert, da die aufzunehmenden Gegenstände hinreichend weit entfernt liegen; in anderen Fällen aber erreicht die Nähe der aufzunehmenden Gegenstände so sehr die Grenze des Zulässigen, daß eine Verminderung des durch die Vorsatzplatte verursachten Einstellungsfehlers wünschenswert erscheint. Für diese Fälle kann man der Vorsatzplatte eine kleine Durchbiegung geben, wie sie im zweiten Abschnitt beschrieben wird, und erreicht dadurch, daß auch solche Gegenstände aufgenommen werden können, die in einer Entfernung liegen, die nur halb so groß ist, als die bisherige kleinste Entfernung[1]).

Bei der Berechnung der Unschärfe, welche durch das Davorsetzen der Vorsatzplatte verursacht wird, wollen wir von der besonderen Stellung des Objektivs zur Vorsatzplatte und von seiner besonderen Brennweite absehen und lediglich voraussetzen, daß die Vorsatzplatte sich dicht vor dem Objektiv befindet. Wir können dies tun, wenn wir annehmen, daß die photographische Aufnahme aus einer Entfernung betrachtet wird, in der sie dem Auge naturgetreu erscheint; in dem Fall nämlich sind die zu berechnenden Winkel, unter denen die die Unschärfe verursachenden Zerstreuungskreise auf der photographischen Platte dem Auge erscheinen, ebenso groß wie die Winkel, unter denen die in die objektseitige Einstellungsebene projizierten Zerstreuungskreise erscheinen, wenn man sie vom Orte der Eintrittspupille aus betrachtet.

---

[1]) Vgl. auch C. P. Goerz A.-G. D. R. P. Nr. 394280 vom 9. 3. 1923.


Digitized by Google

Wir untersuchen also nur den Objektraum, in welchem die Strahlen vor ihrer Brechung durch die Vorsatzplatte verlaufen und den Bildraum, in dem die Strahlen nach ihrer Brechung durch die Vorsatzplatte abgebildet werden.

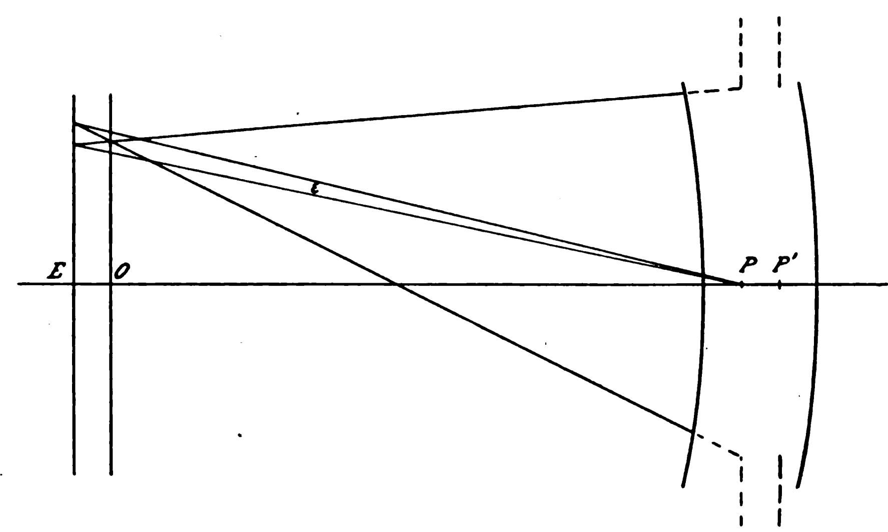


Fig. 1.

Die Objektebene gehe durch den Punkt O auf der optischen Achse. Die Ebene der Eintrittspupille durch den Punkt P, und die Einstellungsebene im Objektraum durch den Punkt E. Das abbildende Strahlenbündel hat seinen Mittelpunkt auf der Objektebene und wird in seiner Öffnung durch die kreisrunde Eintrittspupille begrenzt, deren Durchmesser gleich p sei. Dieses Strahlenbündel schneidet die Einstellungsebene in einem Kreis, dem Zerstreuungskreis, dessen Durchmesser, wie aus der Figur 1 ersichtlich, gleich

$$\frac{EO \cdot p}{PO}$$

ist. Der Winkel, unter dem der Durchmesser dieses Zerstreuungskreises vom Punkte P aus erscheint, ist

$$\varepsilon = \frac{EO \cdot p}{PO \cdot PE} = \frac{EO \cdot p}{PO \cdot (PO - EO)}.$$

Unbekannt ist darin nur die Strecke EO.

Da die Kamera auf die Objektebene scharf eingestellt wurde, bevor die Vorsatzlinse davor gebracht wurde, geht die bildseitige Einstellungsebene ebenfalls durch den Punkt O hindurch, d. h., daß der zu E konjugierte Punkt E' mit O zusammenfällt und folglich $EO = EE'$ ist.

Die Vorsatzplatte ist bei der Berechnung von Objekt- und Bildentfernungen als teleskopisches System aufzufassen, so daß die für teleskopische Systeme geltenden Abbildungsgleichungen ohne weiteres verwendet werden können. Die Abbildungsgleichung, welche die Entfernungen der einander konjugierten Einstellungsebenen von den einander konjugierten Pupillen miteinander verbindet, lautet bekanntlich

$$P'E' = \beta^2 \cdot PE,$$

wo β die konstante Lateralvergrößerung des teleskopischen Systems ist. In dieser Gleichung ist wie aus der Figur ersichtlich

$$P'E' = PO - PP' \quad \text{und} \quad PE = PO - EO.$$

Digitized by Google

Werden diese beiden Werte in die Abbildungsgleichung eingesetzt, so ergibt sich

$$EO = \frac{PO\cdot(\beta^2 - 1) + PP'}{\beta^2}.$$

Der so gefundene Wert der Strecke EO wird in die Gleichung für den Winkel ε des Zerstreuungskreises eingesetzt und ergibt

$$\varepsilon = \frac{PO\cdot(\beta^2 - 1) + PP'}{PO\cdot(PO - PP')}\,p.$$

Dieser Ausdruck für den Winkel ε enthält nur die eine Variable PO, das ist die Entfernung der Objektebene von der Eintrittspupille, und die Parameter p, β und PP'. Der Durchmesser der Eintrittspupille p und der gegenseitige Abstand von Austritts- und Eintrittspupille PP' sind durch die Aufgaben, welche die Vorsatzplatte zu erfüllen hat, bestimmt; denn p ist maßgebend für die Lichtstärke, und PP' hängt von der Dicke und dem Brechungsverhältnis des Glases ab. Dagegen kann über die Lateralvergrößerung β noch verfügt werden.

1. Die planparallele Vorsatzplatte.

Bei der planparallelen Vorsatzplatte ist die Lateralvergrößerung $\beta = 1$, folglich wird

$$\varepsilon = \frac{PP'\cdot p}{PO\cdot(PO - PP')}.$$

Wie man sieht, wird ε gleich 0, wenn der Objektabstand PO gleich ∞ wird; wird der Abstand des Objektes PO kleiner, so wächst der Winkel ε. Das Anwachsen des Winkels ε ist aus Tabelle 1 zu ersehen, welcher als Beispiel eine Vorsatzplatte mit der Eintrittspupille $p = 100$ mm, einer Dicke $d = 30$ mm und einem Brechungsverhältnis $n = 1{,}5$ zugrunde gelegt wurde, so daß sich

$$PP' = \frac{n-1}{n}\,d = 10 \text{ mm} \qquad \text{und} \qquad \varepsilon = \frac{1000}{PO(PO - 10)}$$

ergibt.

Tabelle 1.

PO in Metern	ε in Winkelminuten
∞	+ 0,00
— 10,0	+ 0,03
— 5,0	+ 0,14
— 3,0	+ 0,38
— 2,5	+ 0,55
— 2,0	+ 0,86
— 1,7	+ 1,18
— 1,4	+ 1,74
— 1,2	+ 2,36
— 1,1	+ 2,81
— 1,0	+ 3,40

Man nimmt an, daß die Unschärfe deutlich sichtbar wird, sobald der Winkel, unter dem der Zerstreuungskreis erscheint, größer wird als eine Winkelminute. Dieser Zustand wird der Tabelle 1 zufolge erreicht, sobald der Objektabstand kleiner als 2 m wird. Nimmt man noch hinzu, daß der Betrachtungsabstand, aus dem heraus betrachtet die Aufnahme naturgetreu erscheint, zuweilen nicht eingehalten wird, so erklärt es sich, daß die Unschärfe im Abstand zwischen 1 und 2 m schon als sehr störend empfunden wird.

Digitized by Google

2. Die durchgebogene Vorsatzplatte.

Wird die Vorsatzplatte ein wenig durchgebogen, so wird die Strecke PP' dadurch nur wenig geändert, da wir annehmen, daß die Eintrittspupille in der Nähe der Vorsatzplatte liegt. Es läßt sich zeigen, daß es immer einen im Innern der Vorsatzplatte gelegenen Punkt P gibt, dessen konjugierter Punkt P' von ihm den Abstand

$$PP' = \frac{n-1}{n} d$$

hat. Lediglich durch die Wahl der Lateralvergrößerung β unterscheidet sich die durchgebogene Platte von der planparallelen.

Die Lateralvergrößerung β soll so gewählt werden, daß dadurch für einen Objektabstand PO_0 die Größe ε verschwindet; das führt zu folgender Beziehung zwischen β und PO_0, wenn wir den allgemeinen Ausdruck für ε zugrunde legen

$$PO_0 \cdot (\beta^2 - 1) + PP' = 0.$$

Mit Hilfe dieser Gleichung läßt sich β durch PO_0 ausdrücken und in die Gleichung für ε einsetzen, so daß man schließlich erhält

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{PO}{PO_0}\right) \frac{PP' \cdot p}{PO \cdot (PO - PP')}.$$

Dieser Ausdruck für ε unterscheidet sich von dem entsprechenden bei der planparallelen Vorsatzplatte nur durch den Faktor

$$\left(1 - \frac{PO}{PO_0}\right),$$

so daß man auch schreiben kann

$$\varepsilon = \overline{\overline{\varepsilon}} \cdot \left(1 - \frac{PO}{PO_0}\right),$$

wo $\overline{\overline{\varepsilon}}$ der entsprechende Wert bei der planparallelen Platte ist.

Auf das oben angeführte Beispiel angewendet, bei welchem die Vorsatzplatte bis auf 1 m Objektentfernung angewendet werden sollte, jedoch nur bis auf 2 m ausreichende Schärfe ergab, erhalten wir

$$PO_0 = -1000 \text{ mm}$$

und daraus die in Tabelle 2 enthaltenen Werte des Winkels ε in Winkelminuten.

Tabelle 2.

PO in Metern	ε in Winkelminuten
∞	— 0,00
— 10,0	— 0,30
— 5,0	— 0,55
— 3,0	— 0,76
— 2,5	— 0,82
— 2,0	— 0,86
— 1,7	— 0,83
— 1,4	— 0,70
— 1,2	— 0,47
— 1,1	— 0,28
— 1,0	— 0

Digitized by Google

Der Winkel ε überschreitet in dieser Tabelle niemals den Wert einer Winkelminute, so daß die Schärfe der Abbildung bis auf 1 m heran genügend erscheint. Der Verlauf der Werte ε und $\overline{\overline{\varepsilon}}$ ist zudem in den Kurven der Fig. 2 übersichtlich dargestellt.

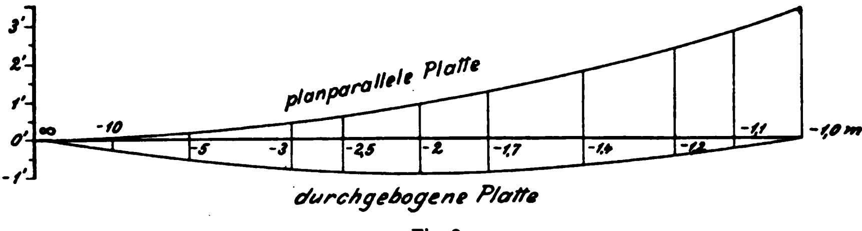


Fig. 2.

Der Wert der Lateralvergrößerung β ergibt sich aus $PP' = 10$ mm und $PO_0 = -1$ m mit Hilfe der Formel

$$\beta^2 = 1 - \frac{PP'}{PO_0} \quad \text{zu} \quad \beta = 1{,}005.$$

Die Winkelvergrößerung ist $\gamma = 0{,}995$ der reziproke Wert von β. Diese Vorsatzlinse hätte also nebenbei die Wirkung, die Objektiv-Brennweite um $^1/_2\,^0/_0$ zu verkürzen und die Bilder dementsprechend um $^1/_2\,^0/_0$ zu verkleinern. Diese Nebenwirkung ist für Porträtaufnahmen beispielsweise ganz ohne Bedeutung, da ja auch die Verzeichnung von Porträtobjektiven zuweilen diesen Betrag erreicht; bedenklich wird die Anwendung der durchgebogenen Vorsatzplatte lediglich bei dreifarbigen Reproduktionen.

Die Radien der durchgebogenen Vorsatzplatte lassen sich folgendermaßen ermitteln. Wir fassen die Vorsatzplatte auf als ein teleskopisches System mit der Objektiv-Brennweite

$$f_1 = \frac{r_1}{n-1},$$

wo r_1 der vordere Radius der Vorsatzplatte und n wieder ihr Brechungsverhältnis ist. Die Okularbrennweite ist entsprechend

$$f_2 = -\frac{r_2}{n-1},$$

die Winkelvergrößerung ist

$$\gamma = -\frac{f_1}{f_2} = \frac{r_1}{r_2},$$

folglich

$$\frac{r_2}{r_1} = \beta.$$

Der Abstand zwischen Objektiv und Okular ist auf Luft reduziert gleich $\frac{d}{n}$. Daraus ergibt sich

$$f_1 + f_2 = \frac{r_1 - r_2}{n-1} = \frac{d}{n}$$

und schließlich durch Umformung

$$r_1 - r_2 = \frac{n-1}{n}\, d = PP'.$$

Die Radien r_1 und r_2 lassen sich also aus β und PP' ermitteln. Man findet für das obige Beispiel $r_1 = -2000$ mm und $r_2 = -2010$ mm; die durchgebogene Vorsatzplatte kehrt also ihre hohle Fläche dem Objekt zu.

Digitized by Google

3. Die afokale Vorsatzplatte im allgemeinen.

Sieht man von der Zusammensetzung der Vorsatzplatte ganz ab und setzt lediglich voraus, daß ihre Flächenradien groß sind im Verhältnis zu ihren Glasdicken, so ist der gegenseitige Abstand von Eintritts- und Austrittspupille annähernd konstant, falls die Pupillen in der Nähe der Platte liegen, und zwar ist für k Linsen

$$PP' = \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i - 1}{n_i} d_i .$$

Also auch bei Vorsatzplatten allgemeiner Art läßt sich an dem Wert PP' nichts ändern, falls diese Vorsatzplatte die ihnen bestimmten besonderen Aufgaben erfüllen sollen, und man ist auch hier gezwungen, allein durch die Wahl der Lateralvergrößerung β den Einstellungsfehler zu vermindern. Der Gang der Untersuchung entspricht genau der oben bei der durchbogenen homogenen Vorsatzplatte geführten und führt wieder zu dem Resultat

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{PO}{PO_0}\right) \frac{PP' \cdot p}{PO \cdot (PO - PP')}$$

$$\beta^2 = 1 - \frac{PP}{PO_0}; \qquad PP' = \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i - 1}{n_i} d_i .$$

Eine solche Vorsatzlinse allgemeinerer Art ist die chromatische planparallele Platte[1]), die zur Erzielung weicher photographischer Bilder verwendet wird. Die chromatische planparallele Platte besteht zur Erreichung der chromatischen Wirkung aus zwei Einzellinsen und hat dementsprechend eine größere Dicke, als eine einfache Glasplatte sie haben müßte. Der Wert PP' ist also verhältnismäßig groß und von Einfluß auf den Winkelwert ε des Zerstreuungskreises. Die vorstehende Untersuchung hat dann dazu geführt, durch eine geeignete kleine Durchbiegung die Einstellungsdifferenz so sehr herabzudrücken, daß die chromatischen planparallelen Platten auch bei den kleinsten vorkommenden Objektentfernungen keine merkliche Differenz in der Einstellung hervorrufen.

Thermische Ausdehnung von weichem und gehärtetem Stahl.

Von

A. Werner in Charlottenburg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Die gesteigerten Ansprüche, welche in neuerer Zeit an die Genauigkeit stählerner Meßwerkzeuge, insbesondere von Endmassen, gestellt werden, lassen es als notwendig erscheinen, über die Wärmeausdehnung der in der Industrie verwandten Stahlsorten in weichem und hartem Zustand sichere Kenntnis zu besitzen. Diese Kenntnis ist um so notwendiger, als in den letzten Jahren Stahllegierungen in beträchtlichem Umfange Verwendung in der Technik gefunden haben, und mit der Vervollkommnung ihrer Herstellungsmethoden wesentliche Änderungen der physikalischen Eigenschaften verbunden waren. Da nur eine systematische und umfassende Untersuchung die erforderliche Klarheit bringen konnte, so wurde an eine größere Anzahl führender

[1]) C. P. Goerz A.-G.: D. R. P. Nr. 364003 vom 11. 3. 1920, und Weidert, F.: Optische Hilfsmittel zur Erzielung künstlerischer Weichheit und Tiefenwirkung im Bilde, insbesondere die Goerz-Mollarlinse. *Deutsche Photographenztg. 1923, Nr. 1, S. 29—45.*

Digitized by Google

deutscher Firmen das Ersuchen gerichtet, der Reichsanstalt Probestücke der in den Betrieben zur Herstellung von Meßwerkzeugen verwandten Stahlsorten zur Verfügung zu stellen. Dieser Wunsch fand auch bereitwillige Unterstützung, und von 11 Firmen wurden insgesamt 34 Proben aus ungehärtetem Stahl in Form zylindrischer Stäbe von rund 100 mm Länge eingereicht. Nach erfolgter Untersuchung des weichen Materials wurden die Stäbe den einzelnen Firmen wieder zugesandt und in der dort üblichen Weise in ihrer ganzen Länge gehärtet. Nachdem die Probestäbe, um die durch Härtespannungen verursachte Veränderlichkeit zu beseitigen[1]), einer 16stündigen Temperung im Ölbade bei etwa $+150^0$ unterzogen worden waren, wurde die thermische Ausdehnung erneut ermittelt. Obwohl in der Meßtechnik meist die Kenntnis des Ausdehnungskoeffizienten bei Zimmertemperatur genügt, erschien es doch wünschenswert, die thermische Ausdehnung des harten und weichen Stahles auch in dem weiteren Intervall von der Temperatur der flüssigen Luft bis zu etwa $+150^0$ C zu verfolgen.

Als Untersuchungsmethode wurde die Spiegelablesung in der von L. Weber angegebenen Form der Doppelspiegel benutzt in der Anordnung, wie sie bereits früher[2]) beschrieben worden ist. Der Vergleich erfolgt hier relativ gegen Quarzglas, dessen Ausdehnung mit ausreichender Genauigkeit bekannt ist. Der Berechnung zugrunde gelegt wurden für die lineare Ausdehnung von Quarzglas in mm/m die von Scheel[3]) bezw. Scheel und Heuse[4]) aufgestellten Gleichungen und zwar

$$\Delta l = +0{,}0362\,\tau + 0{,}01813\,\tau^2 - 0{,}00340\,\tau^3 \text{ für das Intervall } -253^0 \text{ bis } +100^0,$$

$$\Delta l = +0{,}0395\,\tau + 0{,}01282\,\tau^2 - 0{,}001698\,\tau^3 \text{ für das Intervall } 0^0 \text{ bis } +500^0,$$

worin $\tau = \frac{t}{100}$.

Die Beobachtungen erfolgten mittels eines Autokollimationsfernrohres Goerzscher Konstruktion, dessen Skala in der Brennebene des Objektivs steht und bei den Ablesungen häufig fast in ihrer ganzen Länge von 15 mm ausgenutzt werden mußte. Aus diesem Grunde mußte die Verzeichnung des Objektivs für die in Frage kommenden Bildwinkel besonders untersucht werden. Das Ergebnis war, das die abgelesenen Skalenwerte ohne Korrektion benutzt werden konnten. Die Verwendung zweier spiegelnder Flächen bietet gegenüber der gewöhnlichen Poggendorffschen Spiegelablesung mit nur einem Spiegel zwei besondere Vorteile. Bei dieser liest man das Doppelte der Strahlablenkung, hier das Vierfache ab, so daß nur der halbe Beobachtungsfehler das Ergebnis beeinflußt. Bei der einfachen Spiegelablesung erkennt man ferner die Lage der spiegelnden Fläche daran, daß die beleuchtete Strichmarke auf einem bestimmten Teilstrich der Skala einsteht, und eine zufällige, durch äußere Einflüsse hervorgerufene, ihrer Größe nach unbekannte Verrückung z. B. des Fernrohres oder des Quarzapparates läßt keine Vergleichung der vorherigen und nachfolgenden Beobachtungen mehr zu. Benutzt man dagegen zwei Spiegelflächen, so wird die Verschiebung der beiden Markenbilder gegeneinander gemessen, und es ist offenbar gleichgültig, an welcher Stelle der Skala mandieselbe mißt.

---

[1]) A. Leman und A. Werner, *Werkstattstechnik* **5.** *S. 453. 1911.*

[2]) A. Leman und A. Werner, *diese Zeitschr.* **33.** *S. 65. 1913.*

[3]) Scheel, *diese Zeitschr.* **32.** *S. 14. 1912 und* **38.** *S. 98. 1918.*

[4]) Scheel und Heuse, *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Ges. 1914. S. 1.*

Digitized by Google

Zum Temperieren diente für das Intervall $+15^0$ bis $+150^0$ C ein mit Rührwerk und elektrischer Heizung versehenes Bad von Paraffinöl, für die tieferen Temperaturen standen Bäder von flüssiger Luft, mit flüssiger Luft vorgekühltes Pentan, feste CO_2 in Alkohol bezw. auf 0^0 gebrachte Bäder von Alkohol in Dewar-Gefäßen zur Verfügung.

Über die chemische Zusammensetzung und Vorbehandlung der Stahlsorten gibt Tab. I Auskunft, soweit eine solche von den Firmen zu erlangen war.

Tabelle I.

Bezeichnung der Probe	Chemische Zusammensetzung								Vorbehandlung
	% C	% Si	% Mn	% Cr	% S	% P	% Cu	% As	
A 1	0,75	0,22	0,41	—					bei 780° geglüht
2	0,75	0,22	0,41	—					bei 850° in Öl abgelöscht und bei 630° angelassen
3	0,94	0,27	0,34	0,95					bei 780° geglüht
4	0,94	0,27	0,34	0,95					bei 850° in Öl abgelöscht und bei 630° angelassen
5	1,09	0,28	1,32	—					bei 780° geglüht
6	1,09	0,28	1,32						bei 850° in Öl abgelöscht und bei 630° angelassen
7	0,87	—	2,05						bei 780° geglüht
8	0,87	—	2,05	—					bei 850° in Öl abgelöscht und bei 630° angelassen
C 1, 2	1,40	0,31	0,17	0,40	0,3	0,2			
F 1	1,1	0,2	0,3		0,025	0,025			
H 1	0,88	0,23	0,98	0,46	0,064	0,041	0,09	0,05	
2	1,11	0,19	0,27	—	0,022	0,036	0,07	0,09	
K 1	0,9								

Die einzelnen Firmen sind hier und im folgenden zur Unterscheidung mit lateinischen Buchstaben (A bis L), die von ihnen eingereichten Stahlproben fortlaufend mit Zahlen bezeichnet. Die in dieser Tabelle nicht aufgeführten Proben werden einfach als „Silberstahl", bester „Werkzeugstahl", „geschmiedeter harter Gußstahl" und ähnlich bezeichnet, ohne nähere Angaben in bezug auf chemische Zusammensetzung oder Vorbehandlung. Von einer schlesischen Hütte (L) waren 13 Stahllegierungen verschiedenartigster, aber unbekannter Zusammensetzung eingereicht worden zum Zwecke der Untersuchung auf Volumenbeständigkeit, deren Ergebnisse eine erwünschte Erweiterung dieser Untersuchung gestatteten. Allerdings sind hier nur Ausdehnungsbestimmungen im Temperaturintervall 0^0 bis $+150^0$ C ausgeführt.

In Tabelle II—IV sind die Ergebnisse der Ausdehnungsbestimmungen an den weichen und gehärteten Stahlproben zusammengestellt und zwar die mittleren Ausdehnungskoeffizienten für die Temperaturintervalle von 25 zu 25^0, in Tabelle V außerdem die für $+20^0$ C aus den Ausdehnungskurven entnommenen Koeffizienten. Da Stahlproben aus gleichem Gusse, und zwar sowohl die gehärteten wie die ungehärteten, nicht unerheblich in ihrer Ausdehnung voneinander abwichen und auch bei Wiederholung der Messung geringe Änderungen aufwiesen, konnte die Genauigkeit der Meßanordnung nicht voll ausgenutzt werden. Die angegebenen Zahlenwerte sind bis auf etwa $\pm 1\%$ zuverlässig.

Digitized by Google

Tabelle II.

Temperatur-Intervall °C	Ausdehnung für 1° und 1 cm in 10^{-6}																					
	Gruppe A																Grpp. B		Gruppe C			
	weich								hart								wch.	hart	weich		hart	
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7*)	8	1	1	1	2	1	2
−200 bis −175	6,9	5,8	6,0	5,8	5,8	6,3	6,9	6,5	7,5	7,4	6,3	6,5	7,7	7,7		8,4	6,4	6,7	6,5	6,2	6,8	6,8
−175 „ −150	7,3	6,8	6,6	6,7	6,8	6,8	7,2	6,9	7,7	7,5	6,9	7,1	8,1	8,6		8,6	7,0	7,2	6,6	6,7	6,9	6,9
−150 „ −125	7,9	7,7	7,5	7,7	7,5	7,5	7,7	7,5	8,1	7,9	7,6	7,5	8,5	9,0		9,3	7,5	7,9	7,2	7,0	7,5	7,6
−125 „ −100	8,4	8,3	8,4	8,4	8,3	8,2	8,4	8,0	8,3	8,8	8,0	8,3	8,9	10,0		9,8	7,9	8,5	7,8	7,7	7,9	7,9
−100 „ − 75	9,3	9,2	9,2	9,1	9,0	8,9	9,0	9,1	9,4	9,4	9,1	9,3	10,1	10,8		10,7	8,6	9,1	8,4	8,5	8,7	8,9
− 75 „ − 50	10,3	9,8	9,7	10,1	10,1	9,5	10,2	10,5	10,5	10,2	10,3	10,1	11,6	11,6		11,8	9,8	10,1	9,5	9,5	9,5	10,0
− 50 „ − 25	11,0	10,6	10,4	10,7	10,7	9,9	11,0	11,5	11,6	11,3	11,1	11,2	12,6	12,7		13,0	10,7	11,0	10,2	10,5	10,8	10,8
− 25 „ 0	11,4	11,0	10,9	10,9	10,8	10,3	11,3	11,7	12,1	12,0	11,8	11,7	13,2	13,4		14,3	10,9	11,8	10,5	10,7	11,7	11,4
0 „ + 25	11,6	11,2	11,0	11,0	10,9	11,2	11,5	12,0	12,5	12,3	12,2	11,8	13,3	13,6		14,6	10,9	12,0	10,6	10,9	11,8	11,4
+ 25 „ + 50	11,8	11,8	11,6	11,4	11,2	11,5	12,0	12,4	12,7	12,6	12,6	12,3	13,5	14,1		14,9	11,3	12,5	11,0	11,2	12,1	11,8
+ 50 „ + 75	12,4	12,4	12,3	12,2	12,0	11,5	13,2	13,0	12,8	13,1	12,8	12,7	14,1	14,4		15,2	12,0	13,1	11,6	11,8	12,4	12,4
+ 75 „ +100	12,8	12,5	12,8	12,9	12,5	12,2	13,9	14,0	13,9	13,6	13,6	13,2	14,4	15,1		15,6	12,3	13,3	12,3	12,1	12,9	13,1
+100 „ +125	12,9	12,5	13,5	13,4	12,8	13,2	14,3	14,2	14,2	13,8	14,4	13,5	14,9	15,5		15,8	12,4	13,4	12,3	12,3	13,5	13,4
+125 „ +150	13,0	12,7	13,8	13,8	13,1	14,0	14,3	14,2	14,2	13,8	15,3	14,0	15,1	15,8		16,2	12,5	13,9	12,5	12,6	14,2	14,2

Tabelle III.

Temperatur-Intervall °C	Ausdehnung für 1° und 1 cm in 10^{-6}																			
	Grpp. D		Grpp. E		Grpp. F		Gruppe G				Gruppe H				Gruppe J				Grpp. K	
	wch.	hart	wch.	hart	wch.	hart	weich		hart		weich		hart		weich		hart		wch.	hart
	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1
−200 bis −175	5,7	6,5	6,3	6,8	5,9	6,5	6,6	6,2	6,7	6,6	6,5	6,6	7,0	7,2	5,8	6,8	7,1	6,8	6,2	9,0
−175 „ −150	6,6	6,6	6,6	7,0	6,6	7,1	6,9	6,7	7,2	7,2	6,9	6,9	7,9	7,8	6,1	6,9	7,5	7,5	6,8	9,1
−150 „ −125	7,1	7,2	7,4	7,5	7,4	7,9	7,5	7,1	7,9	7,8	7,9	7,8	8,3	8,6	6,9	7,3	8,4	7,9	7,4	9,4
−125 „ −100	7,8	7,8	8,0	8,0	7,9	8,2	8,0	7,7	8,2	8,4	8,4	8,2	9,0	9,7	7,8	7,8	8,9	8,4	7,9	9,5
−100 „ − 75	8,2	8,9	8,6	8,9	8,9	9,3	8,7	8,9	9,1	9,1	9,1	8,9	10,2	10,3	9,0	8,2	9,4	9,3	8,9	9,8
− 75 „ − 50	9,4	9,6	9,4	10,1	9,7	10,2	9,7	10,2	10,4	10,2	9,5	9,9	11,2	11,7	10,0	9,1	10,5	10,1	10,0	10,5
− 50 „ − 25	10,4	10,3	11,1	11,4	10,1	11,3	10,8	11,0	11,3	11,6	10,6	10,9	11,9	12,5	10,7	10,2	11,1	10,9	10,6	10,9
− 25 „ − 0	10,6	11,2	11,5	12,8	10,2	12,2	11,1	11,0	12,0	12,4	11,2	11,3	12,9	12,9	10,8	10,7	11,9	11,6	11,3	11,7
0 „ + 25	10,7	11,6	11,6	12,8	10,3	12,4	11,2	11,1	12,6	12,8	11,4	11,7	13,3	13,7	11,0	10,8	12,6	12,5	11,4	12,9
+ 25 „ + 50	11,0	11,7	11,6	13,1	10,7	12,8	11,4	11,4	13,0	13,0	12,0	12,3	13,7	14,1	11,4	11,2	12,8	12,9	11,6	13,2
+ 50 „ + 75	11,4	12,2	11,7	13,3	11,8	13,1	11,9	11,9	13,2	13,5	13,0	12,9	14,3	14,7	11,4	11,9	13,0	13,4	12,1	13,7
+ 75 „ +100	12,0	12,5	12,0	13,6	12,6	13,6	12,0	12,1	13,6	13,9	13,7	13,5	14,9	15,2	11,4	11,9	13,4	13,6	12,2	14,5
+100 „ +125	12,1	12,8	12,1	13,9	12,7	14,0	12,1	12,1	14,0	14,1	13,9	13,6	15,1	15,3	11,5	11,9	13,8	13,9	12,3	14,8
+125 „ +150	12,1	13,0	12,3	14,3	12,8	14,2	12,2	12,2	14,2	14,4	14,1	13,8	15,1	15,4	11,5	12,0	13,9	14,1	12,5	15,2

Tabelle IV.

Temperatur-Intervall °C	Ausdehnung für 1° und 1 cm in 10^{-6}																								
	Gruppe L																								
	weich													hart											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0 bis + 25	11,6	11,3	11,8	11,5	11,5	11,8	11,6	12,0	11,9	11,9	11,9	12,0	11,5	12,4	12,4	12,0	11,0	12,5	12,6	13,0	11,2	12,8	12,1	12,6	12,1
+ 25 „ + 50	11,7	11,3	12,1	11,6	11,6	11,8	11,7	12,1	12,2	11,9	12,2	12,3	11,9	12,9	12,6	12,5	11,3	12,6	13,0	13,1	11,4	12,9	12,7	12,8	12,6
+ 50 „ + 75	12,0	11,5	12,2	11,8	12,0	12,0	12,2	12,3	12,7	12,1	12,3	12,4	12,0	13,5	12,8	13,1	11,9	12,7	13,5	13,2	11,9	13,0	13,3	13,5	13,4
+ 75 „ +100	12,4	11,6	12,8	12,2	12,1	12,4	13,0	12,3	13,2	12,3	13,2	13,2	13,0	14,0	13,4	14,0	12,4	13,1	13,7	13,9	11,9	13,6	13,3	13,6	13,7
+100 „ +125	13,1	12,3	13,2	12,5	12,2	12,4	13,4	12,7	13,5	12,3	13,9	13,6	13,6	14,0	13,5	14,2	12,4	13,2	14,0	14,5	12,1	13,6	13,5	13,7	13,9
+125 „ +150	14,1	12,5	13,3	12,8	12,3	12,5	13,7	12,8	13,6	12,5	13,9	13,6	14,0	14,2	13,5	14,2	12,4	13,5	14,0	14,7	12,3	13,8	13,6	13,8	13,9

*) Beim Härten zersprungen.


Digitized by Google

Die Tabellen lassen zunächst die seit langem bekannte Tatsache erkennen, daß der gehärtete Stahl in allen untersuchten Temperaturbereichen eine größere Ausdehnung besitzt als der ungehärtete. Das gilt für alle Proben der Gruppen A bis K, und zwar liegt die Zunahme der Ausdehnungskoeffizienten, wenn man sich auf die meist interessierenden Werte bei $+20^0$ C beschränkt, zwischen 7 und 21%. Eine Ausnahme bilden dagegen die Spezialstähle der Gruppe L (Tabelle V). Hier sind diese Zunahmen wesentlich geringer, in zwei Fällen (Proben 4 und 8) ist die Ausdehnung des gehärteten Stahles sogar kleiner als die des weichen Materials. Im Mittel beträgt in dieser Gruppe bei $+20^0$ die Ausdehnung des ungehärteten Stahles $11{,}8 \cdot 10^{-6}$, des gehärteten $12{,}3 \cdot 10^{-6}$, während die entsprechenden Mittelwerte der übrigen 10 Gruppen 11,2 bzw. $12{,}7 \cdot 10^{-6}$ sind. Es fällt auf, daß bei den Spezialstählen der Gruppe L der Unterschied zwischen der Ausdehnung von weichem und hartem Stahl ganz merklich geringer ist, als bei den übrigen Normalstählen, und zwar 0,5 gegen $1{,}5 \cdot 10^{-6}$ im Mittel. Von den gefundenen Werten 11,2 bzw. $12{,}7 \cdot 10^{-6}$ für gewöhnlichen Stahl bei $+20^0$ C stimmt der letztere gut überein mit der von Block[1]) mit Hilfe des Fizeauschen Dilatometers an 3 Proben abgeleiteten Ausdehnung von 12,76, während die von ihm für weichen Stahl ermittelte Zahl von $10{,}50 \cdot 10^{-6}$ nicht unerheblich von dem hier angegebenen Mittelwert von $11{,}2 \cdot 10^{-6}$ abweicht. Diese Abweichung kann aber nicht weiter verwundern, weil sich der niedrige Wert von $10{,}5 \cdot 10^{-6}$ auf die Untersuchung von nur 2 Metallproben von offenbar zufälligerweise geringer Ausdehnung stützt.

Die im Temperaturintervall von -200^0 bis $+150^0$ C ausgeführten Bestimmungen (Tabelle II bis IV) zeigen weiter, daß mit wachsender Temperatur die Ausdehnung des Stahles in beiden Zuständen zunimmt. Bei der Temperatur der flüssigen Luft beträgt der Ausdehnungskoeffizient bei den ungehärteten Stahlproben im Mittel $6{,}3 \cdot 10^{-6}$ und steigt bis auf $12{,}9 \cdot 10^{-6}$ bei $+150^0$ C. Im gehärteten Zustand sind die entsprechenden Zahlen 7,1 bzw. $14{,}6 \cdot 10^{-6}$.

Über den Einfluß der chemischen Zusammensetzung des Stahles auf die Ausdehnung ist, soweit die erhaltenen Angaben ausreichen, folgendes zu erkennen: Größerer Gehalt an Mangan bewirkt, wie ähnliches bereits von Bein festgestellt wurde[2]) anscheinend eine Steigerung der Ausdehnung, wie es die Proben A 5—8 mit höchstem Mangangehalt von 1,32 bezw. 2,05% erkennen lassen. Das gleiche gilt für die beiden Proben der Gruppe H, die neben 0,98% bzw. 0,27% Mangan noch Kupfer und Arsen enthalten. Die 6 Proben haben, wie es besonders deutlich im gehärteten Zustand hervortritt (Tab. V), die größten ermittelten Ausdehnungskoeffizienten.

Nach Tab. V beträgt die Ausdehnung des weichen Stahls bei $+20^0$ C im Mittel $11{,}5 \cdot 10^{-6}$, die des gehärteten Stahls $12{,}5 \cdot 10^{-6}$. Diese Werte weichen beträchtlich von dem noch vielfach in der Meßtechnik angenommenen Mittelwert von $10{,}5 \cdot 10^{-6}$ für weichen Stahl und von 11,0 bzw. $11{,}5 \cdot 10^{-6}$ für harten Stahl ab. Da die gefundenen Ausdehnungskoeffizienten für weichen Stahl sich zwischen 10,4 und $12{,}6 \cdot 10^{-6}$, bei gehärtetem Stahl zwischen 11,1 und $14{,}7 \cdot 10^{-6}$ bewegen, erscheint es unerläßlich, diesem Umstand besondere Beachtung, z. B. bei Festsetzung von Fehlergrenzen für Endmaße und ähnliche Meßwerkzeuge gesteigerter Genauigkeit zuzuwenden. Es ist unbedingt erforderlich, die Ausdehnung des Stahlmaterials dann von

---

[1]) Block, *Wissenschaftl. Abh. der Kais. Normal-Eich.-Kom. 1912. S. 68.*

[2]) Bein, Ausdehnung von Materialien am Abbe-Fizeauschen Dilatometer. *Wissensch. Abh. d. Kais. Norm.-Eich.-Komm. 1912. S. 41.*

Digitized by Google

Tabelle V.

Gruppe	Ausdehnungskoeffizient bei + 20° C in 10^{-6} weich	hart	Gruppe	Ausdehnungskoeffizient bei + 20° C in 10^{-6} weich	hart
A 1	11,6	12,5	L 1	11,6	12,5
2	11,4	12,4	2	11,3	12,4
3	11,2	12,3	3	11,9	12,1
4	11,1	11,9	4	11,5	11,1
5	11,0	13,3	5	11,5	12,5
6	11,3	13,7	6	11,8	12,7
7	11,6	—	7	12,6	13,0
8	12,1	14,7	8	12,0	11,2
B 1	11,0	12,1	9	12,0	12,8
C 1	10,7	11,9	10	11,9	12,3
2	11,0	11,5	11	12,0	12,6
D 1	10,8	11,6	12	12,1	12,2
E 1	11,6	12,9	13	11,6	11,9
F 1	10,4	12,5			
G 1	11,2	12,7			
2	11,2	12,8			
H 1	11,6	13,4			
2	11,9	13,8			
J 1	11,1	12,6			
2	10,9	12,6			
K 1	11,4	13,0			
Mittel:	11,2	12,7	Mittel:	11,8	12,3

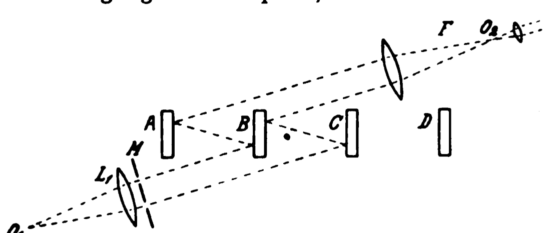
Fall zu Fall besonders zu bestimmen, wenn die häufig übertriebene Genauigkeit in der Bestimmung und Angabe der Abmessungen bei praktischer Verwendung nicht hinfällig sein soll.

Referate.

Die Anwendung der Lichtinterferenz zu Längenmessungen auf größeren Distanzen.

Von Y. Väisälä. *Veröffentl. des Finn. Geodät. Inst. No. 2. Helsingfors 1923.*

Die Auswertung größerer Längen mit Hilfe von Licht-Interferenzen bereitet bekanntlich sehr erhebliche Schwierigkeiten. Diese umgeht der Verfasser auf einem sehr interessanten Wege unter Anwendung von Fraunhoferschen Beugungsvorgängen. Gemäß der schematischen Zeichnung (s. Fig.) wird eine geeignete Lichtquelle, weißes oder monochromatisches Licht in Punktform benutzt (O_1) und es werden durch ein Objektiv L_1 die Lichtstrahlen parallel gemacht. Sie fallen in der skizzierten Weise auf drei Spiegel A, B, C, die in gleichen Abständen voneinander stehen, durchsetzen dann ein zweites Objektiv F, in dessen Brennpunkt O_2 sie wieder vereinigt werden. Unmittelbar hinter dem ersten Objektiv befindet sich ein Schirm M mit zwei Blendenöffnungen, so daß dann im Brennpunkt des zweiten Objektivs Fraunhofersche Beugungsstreifen auftreten. Bedingung für deren Zustandekommen ist, daß die Entfernung der Spiegel B und C gleich der Entfernung der Spiegel A und B ist. Ist also der Abstand der Spiegel A und B bekannt, so kann unmittelbar die Entfernung der Spiegel A und C ermittelt werden. Dieser



Digitized by Google

Vorgang ist beliebig fortsetzbar. Verfasser geht so vor, daß die Entfernung $A-B$ durch ein Endmaß gemessen wird, das seinerseits in seiner Länge bekannt sein muß. Wenn man die Anordnung so trifft, daß zwischen einzelnen Spiegeln mehrfache Reflexionen stattfinden, kann man sofort auf größere Abstände zwischen ihnen übergehen. Wegen des nicht symmetrischen Strahlengangs schlägt Verfasser eine andere Anordnung vor mit Spiegeln in I-Form, wobei es ohne weiteres möglich ist, einen vollkommen symmetrischen Strahlengang zu erzielen.

Es ist ohne weiteres klar, daß die Beugungsstreifen nur dann auftreten, wenn die Lichtwege sehr genau gleich lang sind. Maßgebend für die Messung ist der zentrale Streifen. Das hat zur Folge, daß die Justierung der ganzen Anordnung ganz außergewöhnlich schwierig ist. Verfasser gibt zwei Möglichkeiten an, um das Aufsuchen der Beugungsstreifen zu erleichtern, einmal mit Hilfe eines Okularspektroskops, sodann mit einem Kompensator nach dem Arago-Typus. Die Spiegel müssen natürlich hervorragend eben sein, ihr Material ist bedeutungslos, da die Lichtwege niemals in den Spiegeln selbst verlaufen. Die Spiegel müssen außerordentlich fein verschiebbar sein, da durch ihre Verschiebung unmittelbar die Lage der Beugungsstreifen gegeben ist. Eigentliche Messungen sind vom Verfasser zunächst noch nicht angestellt worden; es sei nur darauf hingewiesen, daß er bis zu Entfernungen von 160 m gelangt ist, wobei es genügte, wenn die Spalte vor dem Objektiv sich in 1 cm Entfernung voneinander befanden. Dem Verfahren ist selbstverständlich damit eine Grenze gesteckt, daß es sehr schwierig ist, den maßgebenden Spiegelabstand genau genug zu messen und endlich dadurch, daß die Einflüsse der Luft die Übertragung der Grundstrecke auf die größeren Strecken leicht verfälschen. Der Verfasser glaubt indessen, bei der Übertragung der Strecken bis zu einer Genauigkeit von der Größenordnung 10^{-7} zu kommen, unter günstigen äußeren Bedingungen. Wenn es sich darum handelt, den vorliegenden Gedanken durchzuführen und einen für geodätische Messungen praktisch gut verwendbaren Apparat zu bauen, so dürfen dem konstruktiv ganz gewaltige Schwierigkeiten entgegenstehen, die sich aber wohl überwinden ließen. Für die sehr genaue Messung von kürzeren Strecken, wie sie laboratoriumsmäßig vorkommen, insbesondere zu dem Zweck, um die Strecken, die man durch Interferenzen auswerten kann, auch auf größere Längen zu übertragen, kann das Verfahren wohl als recht aussichtsvoll bezeichnet werden. *Block.*

Ein Instrument (Densitometer) zur Messung hoher photographischer Dichtigkeiten.

Von L. A. Jones, *Journ. Opt. Soc. Amer.* **7.** *S. 231. 1923.*

Ein Lummer-Brodhun-Würfel K, dessen Hypotenusenfläche durch eine senkrechte Grenzlinie in zwei nebeneinanderliegende Felder geteilt ist, die durch ein Okular R betrachtet wird, erhält von der Lichtquelle A auf zwei verschiedenen Wegen seine Beleuchtung.

Die Lichtquelle A ist eine Lokomotivlampe von dem Mazda-Typus von 108 Watt bei 6 Volt. Der strahlende Metallfaden bildet eine Spirale, der Faden hat einen Durchmesser von $^1/_8''$ und eine Länge von $^3/_{16}''$. Das Bild des Fadens wird durch ein Linsensystem N in natürlicher Größe auf den Diffusionsschirm M entworfen und die Fläche dieses Schirmes sodann durch die Linse L auf der Photometerfläche des Würfels K abgebildet. Für L stehen verschiedene Linsenkombinationen zur Verfügung, welche Vergrößerungen von 0,1, 0,25, 1,0, 4,0 und 10 bewirken, also dadurch auch verschiedene Beleuchtungsstärken der Photometerfläche. Zur weiteren Änderung der Intensität können zwischen das Linsenpaar N Blenden O von verschiedener wirksamer Öffnung eingesetzt werden.

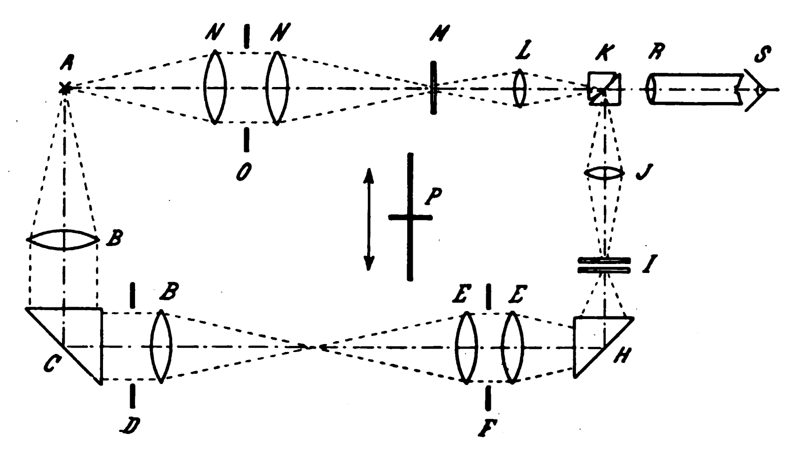
Der zweite von der Lichtquelle A kommende Lichtweg führt durch die Linsensysteme B und E. Bei beiden ist ein rechtwinkliges Reflexionsprisma C und H angeordnet, so daß die Strahlen durch das System von diffundierenden Platten I und die Projektionslinse J, die wie L in verschiedenen Brennweiten vorhanden ist, auf den Photometerwürfel K rechtwinklig zum ersten Strahlengang geleitet wird.

Zwischen den Linsen des Systems B ist eine Irisblende D angebracht, zwischen denjenigen des Systems E ein rotierender Sektor. Die beiden gegeneinander drehbaren Scheiben dieses Sektors besitzen je zwei Öffnungen von 90°, die daran angebrachte Teilung teilt diesen Winkel in


Digitized by Google

100 Teile. Dieser rotierende Sektor, der im allgemeinen der Intensitätsabstufung dienen sollte, wurde auch benutzt zur Kalibierung der sämtlichen in den Apparaten benutzten Blenden.

Das Plattensystem *I* besteht aus zwei diffus durchlassenden Platten, und zwar ist das in der Zeichnung oberste fest angebracht in der gleichen Entfernung von *K* wie die Platte *M*. Die untere Platte kann hin und her bewegt und dadurch die Entfernung der beiden Platten sowie die Beleuchtungsstärke der oberen Platte verändert werden.



In *P* ist noch eine Sektorenscheibe angedeutet, die durch einen Motor angetrieben wird. Die Sektorenscheibe besitzt zwei symmetrisch angeordnete Öffnungen. Sie kann entweder in den Strahlengang *AM* oder in denjenigen der Richtung *CH* gebracht werden.

In der Figur ist nirgends angedeutet, wo die zu untersuchende photographische Platte ihren Platz findet. Nach dem Zusammenhang der Beschreibung muß der Ort für dieselbe hinter der Platte *M* sein, also zwischen *M* und *L*. Diese Platte *M* ist eine mattgeschliffene Milchglasplatte.

In der ganzen Anordnung des Instruments fällt die große Anzahl von Mitteln zur Lichtstärkenveränderung auf. Dazu dienen die Blenden *O* und *D* sowie die Sektorenscheiben *F* und *P*. Die damit verbundene Absicht geht offenbar dahin, Lichtschwächungen in möglichst großem Umfange zu ermöglichen und so auch die geringe Durchlässigkeit sehr dichter photographischer Platten messen zu können. *H. Krüss.*

Spektrometer.

Von A. Jobin *und* G. Yvon, *Revue d'Optique.* **2.** *S. 517. 1923.*

Das von dem Verf. konstruierte Spektrometer besitzt ein Prisma mit konstanter Ablenkung von 24 mm Größe der wirksamen Flächen. Das Kollimator- und das Beobachtungsrohr sind mit Teleobjektiven aus drei Linsen mit der Gesamtbrennweite von je 250 mm ausgerüstet. In der Fadenkreuzebene befindet sich eine Platte mit einem Schlitz von etwas größerer Breite wie die zu beobachtenden Spektrallinien. In die Mitte dieses Schlitzes wird die betreffende Linie eingestellt.

Der wesentlichste Unterschied zwischen diesen und den sonst üblichen ähnlichen Instrumenten ist folgender. Die Umdrehungen der Schraube, durch welche das drehbare Prisma mit konstanter Ablenkung auf verschiedene Wellenlängen eingestellt werden kann, pflegt mit einem Zylinder versehen zu sein, auf deren Umfang eine Spirale eingegraben ist. In ihr gleitet ein bei der Umdrehung mitgenommener Zeiger, mittels dessen auf der an der Spirale angebrachten Teilung die Wellenlänge abgelesen wird. An Stelle dieser Trommel benutzen die Verf. eine Scheibe von 13 cm Durchmesser, auf deren Fläche die Spirale von 1,2 m Länge angebracht ist. Die darauf angebrachte Teilung geht von 390 bis 800 $\mu\mu$. Während bei dem Zylinder jeder Umdrehung die gleiche Länge der Spirale entspricht und infolgedessen die Teilung in Wellenlängen für das rote Ende des Spektrums sehr eng, für das violette sehr weit ist, wird bei der Spirale die Teilung auf der Scheibe so angeordnet, daß für das rote Ende der äußerste Umgang, für das violette der innerste der vier Umgänge benutzt wird. Dadurch wird bewirkt, daß am violetten Ende die Teilung nur etwa viermal so weit ist wie am roten, während bei Anwendung eines Zylinders das Verhältnis etwa 1 : 13 ist.

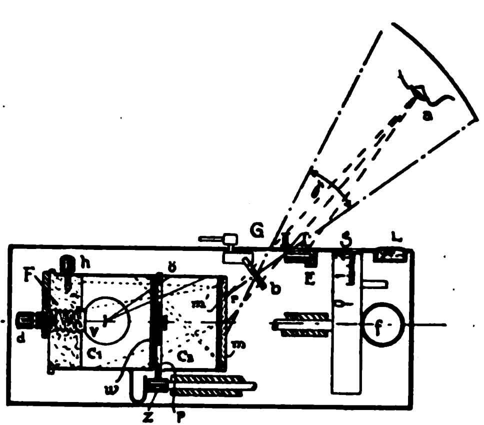
H. Krüss.


Digitized by Google

Ein neuer Beleuchtungsmesser.

Von Walter Bechstein, *Licht und Lampe.* *1. S. 20. 1923.*

Das in Fig. 1 im Schnitt dargestellte Instrument besitzt einen Auffangschirm aus Ostwaldschem Normalweiß (Bariumsulfat), welcher die eine Hälfte des Gesichtsfeldes G_I bildet und unter einem Winkel 35—40° betrachtet wird. Die andere Hälfte des Gesichtsfeldes G_{II} wird beleuchtet durch die Milchglasplatte *m*, welche ihrerseits durch die Vergleichslampe *V* ihre Beleuchtung erhält. Diese Glühlampe brennt mit niedriger Belastung in rötlichem Licht. Durch eine Blauglasplatte *m'*, welche sich in Berührung mit der Milchglasplatte *m* befindet, wird das rötliche Licht dem Licht der normalen Metallfadenlampe in bezug auf Färbung gleichgemacht. Die Vergleichslampe beleuchtet die Milchglasplatte *m* nicht unmittelbar, sondern die mattweiß ausgekleideten röhrenförmigen Kammern C_1 und C_2 und zwar befindet sich zwischen diesen beiden eine Zwischenwand mit einer Anzahl gleich großer konzentrisch angeordneter runder Öffnungen, durch die die Wände der Kammer C_2 beleuchtet werden und ihrerseits wieder die Milchglasplatte *m* erhellen. Vor dieser Lochplatte ist eine zweite ihr genau entsprechend drehbar angeordnet. Durch Drehung der letzteren können die Öffnungen mehr oder weniger geschlossen werden, ähnlich wie es bei der gegeneinander drehbaren Sektorenscheibe geschieht. Auf einer, die Drehung bewirkenden Trommel können die jeweiligen wirksamen Größen der Öffnungen bzw. die daraus berechneten Helligkeiten abgelesen werden.



Die Verhältnisse des Photometers sind so gewählt, daß Gleichheit der beiden Hälften des Gesichtsfeldes erhalten und bei einer Beleuchtungsstärke des Auffangschirmes von 1 Lux an der Trommel 1 abgelesen wird; der Meßbereich geht dann durch Drehen der Trommel und dadurch bewirktes teilweises Schließen der Öffnungen bis auf 10. Die Auffangfläche mit dem Normalweiß kann gegen zwei solche mit Ostwaldschem Grau ausgetauscht werden, die nur 10 bzw. 2 Hundertteile des auffallenden Lichtes diffus zurückstrahlen, so daß dadurch der Meßbereich bis auf 100 bzw. 500 Lux erweitert werden kann. Handelt es sich um Beleuchtungsstärken unter 1 Lux, so kann durch Einschaltung von Widerstännden die Lichtstärke der Vergleichsglühlampe auf $^1/_{10}$ bzw. auf $^1/_{1000}$ herabgedrückt werden. Die dadurch herbeigeführte stärkere Rötung des Vergleichslichtes wird ausgeglichen durch eine vorzuschlagende blau gefärbte Glasplatte *b*. Der ganze Meßbereich umfaßt also Beleuchtungsstärken von $^1/_{100}$ bis 500 Lux. Die Messungsgenauigkeit des Beleuchtungsmessers soll 5 bis 10 v. H. betragen.

Der Strom für die Vergleichsglühlampe wird geliefert durch zwei normale Taschenbatterien, welche mittelst des Schalters *S* parallel eingeschaltet werden. Es ist dafür gesorgt, daß bei Schließen des Apparatenkastens, d. h. wenn er nicht benutzt werden soll, — die Batterie selbständig ausgeschaltet wird. Vor der Lampe ist ein Regulierwiderstand und ein Amperemeter eingeschaltet.

Zum Eichen des Instruments wird unter Ausschaltung der Taschenbatterie ein Akkumulator von 4 V benutzt. Die Eichung erfolgt auf einer Photometerbank unter Anwendung von geeichten Normalglühlampen von 1 oder 5 HK. *H. Krüss.*

Neue Wege und Ziele der Schattenmessung.

Von K. Norden, *Licht u. Lampe.* *1. S. 470. 1923.*

Ergebnisse von Beleuchtungs- und Schattenmessungen.

Von L. Bloch, *Licht u. Lampe.* *1. S. 491. 1923.*

Die beiden Veröffentlichungen beschäftigen sich wesentlich mit der Anwendung des Bechsteinschen Beleuchtungsmessers auf Schattenmessungen, d. h. auf Trennung der Beleuchtungsstärke


Digitized by Google

einer Fläche in die direkte Beleuchtung und die namentlich bei Einwirkung mehrerer Lichtquellen verursachten Schatten.

Zu diesem Zwecke hat Norden seine schon früher beschriebene Vorrichtung zur Erzeugung von Schatten mit dem Beleuchtungsmesser so verbunden, daß der Meßkreis stets auch der Ort der Schaten wird. Die angewandte Blende ist eine Kreisscheibe von 20 mm Durchmesser, die sich auf einem halbkreisförmigen Bügel von 20 mm Radius verschieben läßt. Dieser Bügel ist als Meridian um den Meßkreis als Zentrum schwenkbar befestigt, so daß durch Verbindung von Schwenkung und Blendenverschiebung jede Stellung der Blende unter gleichbleibendem Abstande herbeigeführt, also eine Lichtquelle unter jedem Winkel gleichartig abgeblendet werden kann. Um die richtige Einstellung der drei Punkte Lichtquelle, Blendenmitte und Meßfeld in eine gerade Linie zu erleichtern, ist in der Mitte der Blendenscheibe eine kleine Linse angebracht, die ein Bild der Lichtquelle auf dem Meßfeld entwirft, wenn die Einstellung richtig bewirkt ist, und die nach Gebrauch mit einer Klappe zugedeckt werden kann.

Bloch beschreibt, wie die Messungen mit diesen Vorrichtungen ausgeführt werden und gibt zur Erläuterung die Ergebnisse von Messungen über die Unterschiede zwischen direkter, halbdirekter und ganzdirekter Beleuchtung hinsichtlich Schattenwirkung, zugleich aber auch hinsichtlich erzielter Beleuchtung, Ungleichmäßigkeit und Wirkungsgrad. *H. Krüss.*

Early Telescopes in the Science Museum, from an Historical Standpoint.

Von D. Baxandall. *Transa. Opt. Soc. XXIV. p. 304. 1922/23.*

Der Aufsatz erläutert einige, meist kleinere Stücke besonders aus dem Wiegenalter, aber auch aus spätern Zeiten der Teleskopie, die sich unter den historischen Schätzen des Science Museum befinden, bietet aber auch vieles zur allgemeinen Geschichte und Vorgeschichte des Fernrohrs.

Die alte Frage, ob schon Roger Bacon im 13. Jahrhundert ein Fernrohr zusammengestellt habe (— aus seinen eigenen Werken geht wenigstens so viel hervor, daß er die Möglichkeit eines Instruments einsah, mit dem man aus großer Entfernung kleine Gegenstände sehen könnte —), z. B. von Molyneux (Dioptrica nova 1692) bejaht, von R. Smith (Optics 1738) verneint, soll vor einigen Jahren auf Grund einer sicher von Roger Bacon herrührenden Handschrift in Ziffernschrift, deren Schlüssel der amerikanische Professor Newbold gefunden habe, eine Wendung zugunsten von Roger Bacon erhalten haben. Irgend etwas Sicheres scheint aber bis jetzt über diese Sache nicht bekannt geworden zu sein. Trotz der bekannten Stelle in dem Buch von Rob. Recorde (1551, „Pathway to Knowledge" über Astronomie, Geodäsie usf.) zugunsten von Roger Bacon, trotz der ebenso bekannten Stellen in der Magia naturalis des Italieners Porta (1558) und in der Pantometria von Leonard und Thomas Digges (1571), der weniger oft angeführten Sätze von Dee im Vorwort zu Billingsleys Elements of Euclid (1570) und in dem Traktat von Will. Bourne über die Eigenschaften von Gläsern zu optischen Zwecken (1585, aber erst rund 250 Jahre später gedruckt), beginnt für uns die Geschichte des wirklichen Fernrohrs immer noch in Middelburg in Holland mit den Brillenmachern Lippershey und Janssen, obwohl Daten auch aus dieser Frühzeit z. T. noch recht verworren sind. Galileis Wiedererfindung des holländischen Fernrohrs (sein Perspicill) ist ebenso allgemein bekannt, wie die spätern Verbesserungen im Schleifen und Polieren der Linsen durch Mariani, Fontana, Torricelli.

Kepplers Dioptrice 1611 war der Ausgangspunkt des sog. „astronomischen Fernrohrs"; es verging aber nochmals über ein Vierteljahrhundert, bis Will. Gascoigne (1639; er fiel fünf Jahre später in der Schlacht bei Marston Moor) durch die Herstellung einer Ziellinie (Fäden und ganze „Mikrometer" im Okular, beim holländisch-galileischen Fernrohr nicht möglich) das astronomische Fernrohr wesentlich verbesserte. Der Verf. veröffentlicht dankenswerterweise wieder die entscheidenden Sätze des Briefes von Gascoigne an William Oughtred (1641), dem eine Skizze der neuen Einrichtung beigegeben war; auch diese gibt der Verf. wieder. Die Fortschritte im Bau des Fernrohrs im spätern 17. Jahrhundert, von 1650 an durch Christ. Huygens und seinen Bruder Konstantin, durch Auzout, Divini, Campani, Reeves, Cock sind bekannt, ebenso die zwei Hevelschen Bücher aus 1647 und 1673 (die Selenographie und die astronomischen Instru-


Digitized by Google

mente), die einen guten Überblick über den Stand der Fernrohrherstellung zur Zeit ihres Erscheinens bieten.

Neben der Vervollkommnung der Refraktor-Fernrohre (s. u.) gingen einher die Verbesserungen im Bau der Reflektor-Fernrohre (Gregory, Optica promota 1663); bekanntlich war Newton überzeugt, daß nach Verwendung von besserem Material und nach weitern Fortschriten in der Herstellung von Reflektoren ein solcher von 6 feet dasselbe leisten werde wie ein 60 feet-Refraktor. Immerhin hat es bis 1721 gewährt, ehe es Hadley gelang, den Konkavspiegel ziemlich genau parabolisch zu schleifen. Einige kleine Reflektorfernrohre sind in den Fig. 6, 7, 8 der Abh. abgebildet und es wird eine ganze Anzahl Londoner Optiker aufgezählt, die solche kleine Reflektoren-Instrumente in großer Vollkommenheit herstellten: Scarlett, Cock, Adams, Cuff, Martin, Nairne, Short, der bis zu seinem Tod 1768 $1^1/_2$ Tausend Stück fertiggestellt hat und in seiner spätern Zeit nur noch Metallspiegel anwendete. Auch der große Jesse Ramsden[1]) ist unter diesen Optikern.

Daneben gehen nämlich einher die Arbeiten zur Achromatisierung der Bilder im Refraktor. Man braucht für England nur an die Namen Chester Moor Hall (1733 durch den Optiker Bass ausgeführt) und vor allem an Dollond (1758) zu erinnern; bis zum Tode von John Dollond (1761) hieß das Geschäft John Dollond und Sohn, nachher Peter Dollond. Refraktoren aus dieser im 18. Jahrhundert wohl berühmtesten englischen Fernrohrwerkstatt sind in Fig. 9 (Vierzöller) und 10 abgebildet.

Für die Astronomie ging bekanntlich der Wettstreit zwischen Refraktoren und Reflektoren bis in unsere Zeit hinein, wo er sich aber doch mehr und mehr zugunsten der Refraktoren zu entscheiden scheint, ohne daß jedoch für alle Zwecke die Reflektoren als überwunden oder veraltet erklärt werden könnten[2]). Welch schöne Leistungen für die Reflektoren am Ende des 18. Jahrhunderts in England erreicht wurden, zeigen die eigenen Worte von Sir Will. Herschel, die der Verf. aus den *Philos. Transa.* 1795 anführt und in denen der große Astronom über seine Tätigkeit (in Bath) im Schleifen von Spiegeln für Reflektoren berichtet (so allein 200 7feet, 150 10feet, 80 20feet (Brennweite)-Spiegel für Reflektoren, aus denen dann die besten ausgesucht, die übrigen zur Neupolierung zurückgelegt wurden). Abgebildet sind in Fig. 11 der 7feet Reflektor Newtonscher Form, mit dem Herschel am 13. März 1781 den Uranus fand.

Für die Geodäsie kam bei der „Teleskopierung der Vermessungsinstrumente", die erst nach Gascoignes Erfindung einen Sinn hatte (s. o.), von allem Anfang an nur das Refraktorfernrohr in Betracht. Dieser „Anfang" liegt übrigens, während astronomische Entdeckungen sich unmittelbar an die Erfindung des holländischen Fernrohrs anschlossen, für geodätische Instrumente auch aus andern Gründen viel später, allgemein eigentlich kaum vor dem Ende des 17., ja vor dem Beginn des 18. Jahrhunderts; die alten Diopter hatten ein sehr zähes Leben, obwohl ja an die Fernrohre geodätischer Instrumente mit ihren nur schwachen Vergrößerungen geringe optische Ansprüche zu machen waren. Und auch die Libellen zur unmittelbaren Herstellung von wagrechten oder mittelbaren Herstellung vertikaler Linien oder Achsen setzten sich nur sehr langsam durch, wurden vielmehr nach ihrer Erfindung, etwas nach der Mitte des 17. Jahrhunderts, zunächst ziemlich allgemein mit Mißtrauen betrachtet. *Hammer.*

Surveying and Navigational Instruments from the Historical Standpoint.

Von L. C. Martin. *Transa. Opt. Soc. London XXIV. S. 279. 1922/23.*

Der Aufsatz ist ein Auszug aus einem vom Verfasser im März v. J. gehaltenen Vortrag; er kann, da er nur 14 Seiten umfaßt, bei dem großen Umfang seines Gebiets vieles nur andeuten, ist aber trotzdem wichtig, weil er besonders über mancherlei englische Instrumente Nachricht gibt, die sonst nicht so leicht zu erlangen ist.

---

[1]) Ich darf wohl bei dieser Gelegenheit den Druckfehler Ira R. statt richtig Jesse R. in *dieser Zeitschr.* **43.** *S. 287. 1923,* Zeile 5 von oben, verbessern.

[2]) Vgl. dazu auch das Ref. von Prof. Knopf über Bells Buch „The Telescope" in *dieser Zeitschr.* **43.** *S. 334. 1923.*

Digitized by Google

Als Urform der meisten modernen Vermessungsinstrumente sieht der Verfasser das arabische Astrolab an, das nach W. hin durch die Araber selbst, nach O. bis nach China durch nestorianische Christen verbreitet worden sei; aus der Spätzeit des Astrolabs wird ein Instrument persischer Herkunft (1490) abgebildet, aus der Literatur des Astrolabiums werden als englische Arbeiten angeführt die Schrift des Athelard von Bath (1130), dann neben Werken über Astronomie von Roger von Hereford, Johann von Holywood usf. aus dem 12. und 18. Jahrh. die Abhandlung von Geoffrey Chaucer aus 1391 (wahrscheinlich nur eine Übersetzung; zur Einführung seines *„littel son Lowis"* in die Kenntnis des Instruments) und die von William Bateombe aus 1410. Man darf beim Astrolab freilich nie vergessen, daß man den Namen Astrolabium, von sehr alter bis in die neuere Zeit, auf fast alle mit Kreisteilungen versehene Winkelmeßwerkzeuge für Messungen auf dem Festland wie auf dem Meer übertrug.

Der (astronomische) Quadrant, der seit dem Ausgang des Mittelalters vielfach an die Stelle des Astrolabs trat, kommt bekanntlich in allen Größen von wenigen Zoll bis mehrere Fuß Halbmesser vor. Abgebildet ist der für Gunter hergestellte Quadrant von Wright, der noch Diopter als Zielvorrichtung hatte, während natürlich die Quadranten von Butterfield (in Paris um 1750), J. Sisson (London um 1770), Dollond (ebend. in der zweiten Hälfte des 18. Jahrh.) teleskopiert waren. Von nautischen (Freihand-)Winkelmessern wird der Cross-Staff (oder Fore-Staff) und der Quadrant von Davis (1590) abgebildet, an dessen Stelle im 18. Jahrhundert die Oktanten und Sextanten traten. Diese repräsentiert ein Sissonsches $5^1/_2$ zöll. Instrument mit Transversalen-Teilung etwa aus 1735.

Für Messungen auf dem Festland kamen schon vom Ende des 16., noch mehr vom Beginn des 17. Jahrh. an neben den (geometrischen) Quadranten Scheibeninstrumente mit Halbkreisen und Vollkreisen auf. Ob man in der Tat den 10 zöll. Vollkreis aus dem Jahr 1610 (Fig. 5 mit einem Absehen von der durch Jahrhunderte so merkwürdig gleichbleibenden Diopterform), der durch die Möglichkeit des Aufhängens an einem Ring die Abkunft vom Astrolab bekundet, obwohl er freilich auch auf einem Stativ horizontal befestigt werden konnte, mit dem Verf. als *„early theodolite"* bezeichnen kann, scheint mir zweifelhaft; obgleich Digges' „Theodolit" schon 40 Jahre vorausgegangen war. Der Nachweis, daß der Name Theodolit in der Literatur, so viel bis jetzt bekannt ist, zuerst bei den Digges in der zweiten Hälfte des 16. Jahrh. vorkommt, ist eines der vielen Verdienste, die sich A. de Morgan um die Geschichte der Mathematik und ihrer Anwendungen erworben hat. Vielleicht war der Name eigentlich in der Form „theodelitus" beabsichtigt und theodolitus ist nur ein Druckversehen, das Digges dann nicht mehr ausmerzen wollte; jedenfalls kommen beide Formen mehrfach nebeneinander bei ihm vor. Daß das Wort heute, wie von jeher *„of uncertain derivation"* ist, ist sicher; es ist mir auch etwas zweifelhaft, ob Digges das Wort selbst geschaffen hat, denn er sagt nicht, er führe das Instrument vor, das er Theodolit nenne, sondern das Instrument *„called th."*, so daß der Name vielleicht älter ist (vgl. dazu meinen Aufsatz „Zur Geschichte des Theodolits und besonders seines Namens" *Zeitschr. f. Vermess.* **37.** *S. 81—91. 1908*; auch zur Pantometrie von Digges *ebend. S. 113—125,* endlich zu dem „Nonius", den jedoch nur wir so heißen, während alle andern Sprachen den richtigen Namen Vernier haben, meine Notiz über Pedro Nunes, *Zeitschr. f. Vermess. 38, S. 177—184, 1909*). Der Gebrauch des Meßtisches, über den der Verf. auf Le Clerc verweist, ist ebensogut oder besser dargestellt in den deutschen Werken, die bis auf den Erfinder des Instruments in der Form zurückgehen, in der wir es wesentlich noch heute verwenden, Prätorius in Altdorf 1611, vor allem bei Schwenter, 1619. Daß die Teleskopierung der Vermessungsinstrumente noch verzögerlicher eingerichtet wurde als die der astronomischen Messungswerkzeuge (vgl. zu diesen den Hevel-Hookeschen Streit) ist bekannt; der Verf. stellt sogar noch Sissons Theodolit von 1725 (Fig. 10) als eines der ersten Winkelmeßinstrumente mit Fernrohr vor, was doch etwas zu weit geht (Horizontalkreis $4^1/_2$ zöllig, durch drei Verniers auf 6′ abzulesen; für Höhenwinkel ist nur ein Höhenbogen da, durch einen Vernier abzulesen. Wie an vielen Instrumenten der Zeit sind zur Drehung der Alhidade und zum Kippen des Fernrohrs Zahnräder angebracht. Übrigens stammt wohl auch die Verwendung konischer Achszapfen für die Achsendrehungen aus dieser Zeit. Die vier Stellschrauben, die das Instrument zeigt, sind lange beibehalten worden: Cole, Adams). Eine interessante Vergleichung zwischen englischen und französischen Theodoliten bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts findet man bei Stone (englische Bearbeitung von Bion's *Instruments*


Digitized by Google

de Mathématique, Paris, 1723, die in London 1753 herauskam). Von Nivellieren ist im ganzen wenig die Rede, es ist auch kein einziges abgebildet. Nicht richtig ist, daß die Röhrenlibelle erst „nahe dem Ende des 17. Jahrhunderts" von Thévenot erfunden worden sei; diese Erfindung stammt vielmehr aus etwa 1660, freilich gaben die ersten Libellen Grund genug zum Mißtrauen und das Schleifen guter Libellen ließ sogar noch fast ein Jahrhundert auf sich warten (Chézy). Über die Teilung von Kreisen, besonders durch Teilmaschinen, gibt der Verf. nur kurze Notizen. Ramsdens Ablesemikroskop mag in Anlehnung an eine 1742 von J. L. Martin am Mikroskop getroffene Einrichtung oder auch nach Louville (Paris, 1774; vgl. Laussedat Recherches usw.) entstanden sein; er hat dann diese feinste aller Ablesevorrichtungen bekanntlich an seinem berühmten großen Theodolit für die englische Haupttrangulation 1792 angewandt, den der Verf. in Fig. 11 abbildet.

Nicht erst „in der Mitte des 19. Jahrhunderts", wie der Verf. sagt, ist die Initiative im Bau von Vermessungsinstrumenten den Händen der britischen Mechaniker entglitten; dies was vielmehr schon einige Jahrzehnte früher der Fall. Man darf aber auch nicht verkennen, daß seit den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts in England redliche und nicht erfolglose Anstrengungen gemacht wurden, in diesen Dingen wieder voranzukommen. Zweierlei empfiehlt der Verf. dabei besonderer Beachtung: daß die Benutzer von Messungsinstrumenten die ihnen gelieferten Geräte sorgfältiger studieren und prüfen, und sodann daß die Verfertiger dieser Instrumente eine „gewisse Scheu vor der wissenschaftlichen Welt ablegen", die im Weltkrieg überwunden gewesen sei, aber bereits sich wieder einzustellen drohe.

Eine wertvolle Beigabe des Aufsatzes ist (und könnte bei größerer Vollständigkeit noch wertvoller sein), eine Bibliographie, deren erster Teil, *books*, zunächst aus der englischen Literatur alter Zeit manche Rara enthält, die anderswo nicht so leicht zu beschaffen sind; besonders der zweite Teil, *papers of interest in the Philos. Transa. R. Soc.* (seit 1667) sollte vollständiger sein, und ebenso der dritte, der (aber nur einige wenige) englische Patente nachweist aus 1782 bis 1829 (in der vorletzten Zeile lies Schmalcalder, *Prismatic Compass*, 5. Aug. 1812). *Hammer.*

Eine Vergleichung der Temperaturskalen.

Von W. E. Forsythe. *Astroph. Journ.* **58.** *S. 294. 1923.*

Es ist das Verdienst des Autors, mit den Mitteln des *Nela Research Laboratory, Cleveland (Ohio)*, eine großzügige Vergleichung der strahlungstheoretischen Temperaturskalen, wie sie in einigen Staats- und Privatlaboratorien verwendet werden, angebahnt zu haben, In der „*Nela*" sind eine Anzahl gasgefüllter und evakuierter Wolframband- und Wolframdrahtlampen (Drahtdicke 0,5 mm) hergestellt und nach sorgfältiger Alterung zunächst an die eigene Skala angeschlossen, dann zum Anschluß an andere Temperaturskalen versandt, um schließlich zur Prüfung der Unveränderlichkeit noch einmal in der *Nela* gemessen zu werden. Die Messungen sind überall mit einem Holborn und Kurlbaumschen Glühfadenpyrometer durchgeführt worden, indem für das rote Farbglas die schwarze Temperatur der Lampen bei einigen vorher festgesetzten Stromstärken bestimmt wurden. Da die Grundlagen für die optische Pyrometrie nicht in allen Fällen die gleichen waren, so mußten die Beobachtungen reduziert werden, und zwar 1. wegen des angenommenen Fundamentalpunktes und seines Temperaturwertes und 2. wegen der Wellenlänge λ_e des Rotglases. Die Konstante c wurde in allen Laboratorien übereinstimmend zu 1,435 cm Grad angenommen. Die Fundamentalpunkte sind in der folgenden Liste der Laboratorien mit enthalten.

1. *Buro of Standards*	Gold	$T = 1336^0$
2. *National Physical Laboratory*	Palladium	$T = 1828^0$
3. *Universität Wisconsin* (*Mendenhall*)	Palladium	$T = 1822^0$
4. *Research Laborectory of the General Electric a Company* (*Langmuir*)	Gold	$T = 1336^0$
5. *Nela Research Laboratory Forsythe*)	Gold	$T = 1336^0$

Für die Reduktion wurde der Goldpunkt $T = 1336^0$ gewählt und angenommen, daß der Palladiumpunkt $T = 1828$ zu derselben Skala führt.

Bei der Reduktion wegen der Wellenlänge ist zu beachten, daß der Strahler (Wolfram) andere Eigenschaften besitzt als ein schwarzer Körper. Sie ist korrekt nur durchzuführen, wenn


Digitized by Google

die Farbtemperatur T_c der glühenden Wolfram bekannt ist, d. i. diejenige Temperatur, bei der ein schwarzer Körper dieselbe relative Energieverteilung im sichtbaren Spektralgebiet besitzt wie das Metall. Eine einfache Überlegung lehrt, daß das Metall dessen absolute schwarze Temperatur bei der Wellenlänge λ_1 zu S_1 gemessen wurde, bei der Wellenlänge λ_0 die absolute schwarze Temperatur S_0 aufweist, wenn $1/S_0 = \lambda_0/\lambda_1\ (1/S_1 - 1/T_c) + 1/T_c$ ist.

Die Ermittelung der effektiven Wellenlänge des Farbglases vor dem glühenden Metall ist nur kurz angedeutet; es erübrigt sich näher darauf einzugehen, zumal der Berichterstatter in diesem Punkt nicht mit der Auffassung des Autors übereinstimmt.

Das Ergebnis der verschiedenen Vergleichungen kann als recht befriedigend bezeichnet werden. Insbesondere ließ sich zwischen den Skalen des *Buro of Standards*, des *National Physical Laboratory* und des *Nela Research Laboratory* mit Sicherheit kein Unterschied nachweisen. Die Messungen erstreckten sich von $T = 1400^0$ bis $T = 2750^0$ und weisen Unterschiede bis zu 3^0 mit wechselndem Vorzeichen auf *Henning.*

Neue Hilfstafeln für Umkippthermometer nach Richter und Beiträge zur thermometrischen Tiefenmessung.

Von Dr. A. Schumacher, Hamburg, Deutsche Seewarte. *Ann. d. Hydr.* **51.** *Heft XII, S. 273. 1923.*

Um mit dem Richterschen Umkippthermometer die Temperatur T_w des Meereswassers in verschiedenen Tiefen messen zu können, muß die am Hauptthermometer abgelesene Temperatur T_t korrigiert werden, da im Augenblick der Ablesung das Quecksilber sich auf der durch das Hilfsthermometer angegebenen Temperatur t befindet. Bezeichnet man mit v_0 das in Grad ausgedrückte Volumen des Quecksilberfadens bis zum Teilstrich 0,00°, und mit $\beta = \frac{1}{6300}$ den Ausdehnungskoeffizienten des Thermometerquecksilbers, so ist T_t um $c = (T_w + v_0)\cdot(T_w - t)\cdot\beta$ zu erhöhen. Da $T_w = T_t + c$ die gesuchte Temperatur ist, so erhält man einen quadratischen Ausdruck für c. Nach Entwickelung der Wurzel und Einführung der Abkürzungen $T_t + v_0 = n$; $T_t - t = \tau$ folgt

$$c = n\,\tau\,\beta\left[\frac{1}{1-(n+\tau)\,\beta} + \frac{3\,\beta^2\,n\,\tau}{[1-(n+\tau)\,\beta]^3} + \ldots\right\} \qquad 1)$$

Der Autor berücksichtigt nur das erste Glied in der Klammer und setzt nach Entwickelung des Nenners

$$c = n\,\tau\cdot\beta\,[1 + (n+\tau)\,\beta + (n+\tau)^2\,\beta^2]. \qquad 1a)$$

Diese Betrachtungen gelten für Umkippthermometer mit geschlossenem Schutzrohr, nicht dagegen für „ungeschützte" Thermometer, die man neben geschützten Thermometern verwendet, um aus dem Unterschied in den Temperaturangaben beider Arten von Instrumenten und dem Druckkoeffizienten der ungeschützten Thermometer auf die Wassertiefe schließen zu können. Bezeichnet $\mathfrak{T}_w$ die Angabe des ungeschützten Thermometers in der Tiefe, $\mathfrak{T}_t$ die Ablesung bei der Temperatur $\mathfrak{t}$, so ist bei entsprechender Bezeichnungsweise wie vorher

$$\mathfrak{T}_w = \mathfrak{T}_t + C' = \mathfrak{T}_t + (\mathfrak{T}_w + \mathfrak{v}_0)\,(T_w - \mathfrak{t})\,\beta;$$

T_w ist aus den Angaben des geschützten Thermometers zu entnehmen. Man findet dann für

$$C' = \frac{(T_w - \mathfrak{t})\,(\mathfrak{T}_t + \mathfrak{v}_0)\,\beta}{1 - \beta\,(T_w - \mathfrak{t})}, \qquad 2)$$

oder mit genügender Näherung

$$C' = (\mathfrak{T}_t + \mathfrak{v}_0)\,(T_w - \mathfrak{t})\,\beta\,[1 + (T_w - \mathfrak{t})\,\beta]. \qquad 2a)$$

Der Mitteilung sind zwei Tabellen angehängt, aus denen nach der Gleichung 1a) die Korrektion C als Funktion der Größen $T_t + v_0$ und $T_t - t$ und nach der Gleichung 2a) die Korrektion C' als Funktion der Größen $\mathfrak{T}_t + \mathfrak{v}_0$ und $T_w - \mathfrak{t}$ auf 0,001° genau entnommen werden können.

Aus dem Temperaturunterschied $\Delta t = \mathfrak{T}_w - T_w$ ergibt sich die Wassertiefe $D = \frac{10}{\alpha\cdot S}\cdot\Delta t$ in Metern, wenn S die mittlere Dichte der Wassersäule und α die Standerhöhung des ungeschützten Thermometers bei einer äußeren Druckerhöhung von 1 kg/cm² beträgt.

Da $\frac{10}{\alpha\cdot S}$ erfahrungsgemäß zwischen 80 und 140 liegt, so läßt sich wegen eines Meßfehlers

Digitized by Google

in Δt, der mit $\pm 0{,}04^{0}$ in Ansatz zu bringen ist, die Meerestiefe D auf 3 bis 6 m genau ableiten. Um sicher zu sein, daß wegen eines Fehlers in α die Meßgenauigkeit nicht geringer ist, muß α bereits in seiner Abhängigkeit von der Temperatur bekannt sein. Andernfalls steigt Fehlergrenze von D leicht bis 10 m. Es empfiehlt sich, den Druckkoeffizienten von Zeit zu Zeit durch die *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* feststellen zu lassen. Am geringsten ist die Unsicherheit von D infolge eines Fehlers in der Dichte S. Um die Erhöhung der Dichte wegen der Zusammendrückbarkeit des Wassers bequem an den (in der üblichen Weise aus Temperatur und Salzgehalt) gefundenen Dichtewerten anbringen zu können, ist für eine Anzahl von Gewässern auf rein empirischer Grundlage eine Tabelle berechnet worden.

Zum Schluß wird ein umfangreiches Beobachtungsmaterial über gleichzeitige Tiefenmessungen (bis 700 m) mit der Leblanc-Lotmaschine und den Umkippthermometern mitgeteilt, durch das von neuem die Brauchbarkeit der Umkippthermometer zur Ermittelung von Meerestiefen bestätigt wird. *Henning.*

Bücherbesprechungen.

P. Werkmeister, Vermessungskunde III. Trigonometrische und barometrische Höhenmessung. Tachymetrie und Topographie. (Sammlung Göschen Nr. 762.) 2. Aufl. 16°. 136 S. mit Fig. Berlin, Vereinig. wissensch. Verleger 1923.

Dieses III. Bändchen der „Vermessungskunde" des Verf. behandelt Geräte und ihre Verwendung, die in den zwei ersten nicht oder nur kurz erwähnt sind. So führt das 1. Kap. von III das im 5. Kap. von II Gebotene weiter aus, freilich z. T. auch Dinge, mit denen der Ingenieur und Geometer nichts anfangen kann (§ 5, Punktbestimmung im Raum durch Vertikalwinkelmessung; später § 18, Streckenmessung mit Hilfe von Vertikalwinkeln); wie denn überhaupt die Ökonomie des Büchleins z. T. nicht verständlich ist: 13 Seiten für den „Schraubenentfernungsmesser" (Streckenmeßtheodolit), während auf dem nur 10fachen dieses Raumes das im Titel genannte ungeheure Gebiet umfaßt werden soll. Weshalb hat ferner für den Verf. so ziemlich alles der bekannte „man" getan? Welcher „man" (S. 49) hat die jetzt freilich allgemein gebrauchte Barometerformel für Deutschland mit dem Hauptkoeffizienten 18464 aufgestellt? Hat derselbe „man" (Jordan) die Bezeichnungen „barometrische Rechnungshöhen" und „barometrische Höhenstufen" für die praktisch allein in Betracht kommenden barometrischen Rechnungsarten eingeführt? Welcher „man" hat die in Fig. 13 dargestellte Rechnungsweise für das halbtrigonometrische Flächennivellement eingeführt? usw.

Der Ref. will hier nicht ausführlich auf Fehler eingehen, die schließlich überall stehen bleiben können. Immerhin: Auch Anfänger, die ja bei unsern leidigen derzeitigen Verhältnissen des Buchgewerbes auf die „billigen" Bändchen der Fibel-Sammlungen als „Lehrbücher" angewiesen sind, werden fast ohne weitere Überlegung nicht glauben, daß man, um bei nur 150 m Zielweite und bei 30° Höhenwinkel den Höhenunterschied auf 5 cm richtig zu erhalten, den Höhenwinkel „auf etwa 20″ genau messen" müsse und demnach „die Messung in zwei Fernrohrlagen auszuführen hätte" (S. 21/22); denn bei nicht großer Abweichung der Zielung von der Horizontalen würde die Genauigkeit von $\frac{5}{15000} \cdot 3440' = 1',1$ genügen, und $\cos^2 \alpha$ sinkt, selbst wenn α auf 30° wächst, erst auf $\frac{3}{4}$, so daß die Genauigkeit des Höhenwinkels nicht über 0′,8 bis 0′,9 oder rund 1′ zu gehen braucht. Oder: Wo (etwa außerhalb von Städten) hat „man" trigonometrische Höhennetze mit Zielweiten von nur 2 bis 3 km ausgeführt (S. 29)? u. dgl.

Wichtiger, besonders im Sinne der vorliegenden Zeitschrift, sind einige Instrumentenfragen: Man wird z. B. bei der Höhenwinkelmessung nicht in jedem Falle der „Nonius- (oder Mikroskop-) Libelle" den Vorzug geben dürfen vor der „Seitenlibelle" (am Fernrohrträger). Mit der Behauptung, daß der Tachymetertheodolit am besten kein Repetitionstheodolit, sondern ein einfacher Theodolit sein soll, steht der Verf. gewiß allein; ganz abgesehen davon, daß, zumal heute, ein und dasselbe Instrument für an sich sehr verschiedene Aufgaben der Lage- und Höhenmessung ausreichen muß, da schon die Kosten vielfach zur Anwendung von „Einheitsinstrumenten" zwingen. In dem Kapitel: Tachymetrie ist von T I gar keine Rede, angesichts der früheren Behandlung



des Streckenmeßtheodolits (s. oben) nicht verständlich; bei T II sind die Anwendungsbedingungen von Theodolit-Grundkreis und Bussole ungenügend, z. T. unrichtig dargestellt (S. 106/114). Z. B. ist auf die Unterschiede zwischen Theodolit-Tachymeterzug und Bussolen-Tachymeterzug nicht aufmerksam gemacht; sollte der Anfänger nicht erfahren, daß es der Güte seiner Arbeit im Walde nichts schadet, ja geradezu erwünscht ist, wenn er, was doch meist zutreffen wird, in seinen Bussolenzügen nicht überall Zielungen haben kann, die über 100 m lang sind (S. 113)? Natürlich soll die Kürze der Zielungen im Bussolenzug nicht so weit gehen, daß man überhaupt nicht vorwärts kommt, aber der Anfänger muß doch erfahren, daß selbst gelegentliche Zielungen von 15 m oder 10 m Länge, die einen Theodolitzug bei den gewöhnlichen Zentrierungs- und Zielmitteln ganz verderben würden, dem Bussolenzug in keiner Weise Schaden bringen.

Die $1^2/_3$ Seiten Bemerkungen über Phototachymetrie, in denen u. a. noch die Einschneide-Phototopographie als gleichberechtigt neben der Stereophotogrammetrie steht, wären vielleicht besser ganz weggeblieben; vor solchen Schlagwort-Scheinkenntnissen sollte man gerade den Anfänger bewahren. *Hammer.*

A. Prey, C. Mainka, E. Tams, Einführung in die Geophysik. Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher, 4. Bd. gr. 8° VIII, 340 S. mit 82 Textabb. Berlin, Julius Springer, 1922. 12 G.-M., geb. 13 G.-M., 2,90 Doll., geb. 3,10 Doll.

Es liegt im Wesen eines einführenden Buches, nur eine Auswahl des Stoffes zu bringen. Die Verfasser beschränken sich auf die Mechanik der festen und flüssigen Teile der Erde. Statik und Dynamik der Atmosphäre, Luft- und Erdelektrizität und Erdmagnetismus sind in das Buch nicht aufgenommen. Das letzte Gebiet vermisse ich ungern, da es in der angewandten Geophysik, auf deren gegenwärtige volkswirtschaftliche Bedeutung die Verfasser im Vorwort mit Recht hinweisen, eine hervorragende Rolle spielt. Das Werk zerfällt in drei Teile, von denen jeder für sich eine ausgezeichnete, in vieler Beziehung äußerst anregende Monographie ist.

Erster Teil: Anwendung der Methoden der Erdmessung auf geophysikalische Probleme. Von Prof. Dr. A. Prey. S. 1—190. Die höhere Geodäsie als Hilfswissenschaft wird hier eingehend behandelt, unterstützt von zahlreichen Literaturnachweisen. Da unter diesen Bruns, Die Figur der Erde (Berlin 1878), nicht erwähnt ist, möchte ich auf diese geradezu klassische Arbeit über diesen Gegenstand hinweisen, die von jedem, der sich mit diesem Problem befaßt, studiert werden sollte. In den ersten beiden Kapiteln behandelt Prey die Bestimmung des Geoides durch Triangulation und aus Schweremessungen. Im dritten Abschnitt wird das geometrische und trigonometrische Nivellement und die barometrische Höhenmessung vorgetragen. Im vierten Abschnitt gibt Prey eine vorzügliche Darstellung der Gezeiten, bei der auf die dynamische Theorie von Laplace und auf die Kanaltheorie der Gezeiten von Airy besonders ausführlich eingegangen wird, während die harmonische Analyse ziemlich kurz behandelt wird. Der letzte Abschnitt ist der Konstitution der Erde gewidmet. Er bringt u. a. Untersuchungen über Erddichte, Schwere, Lotstörungen und Festigkeit der Erde.

Zweiter Teil: Erdbebenwellen. Von Prof. Dr. C. Mainka. S. 191—232. Im ersten Abschnitt gibt der Verfasser einen trefflichen Überblick über Seismographen, deren Theorie er an Hand schematischer Zeichnungen klarlegt. Trotz der gedrängten Form der Darstellung finden sich darin zahlreiche geschichtliche Bemerkungen und vor allem mancher wertvolle Hinweis für den praktischen Physiker; der zweite Abschnitt handelt von Seismometrie und Seismophysik. Das Seismogramm wird interpretiert. Leider ohne Abbildungen (Originalkopien!). U. a. werden Laufzeitkurven, Emergenzwinkel, Bestimmung der Lage und Tiefe des Herdes besprochen. Die Wiechertsche Konstruktion der seismischen Strahlen im Erdinnern wird angegeben. Ergebnisse über Ausbreitungsgeschwindigkeiten longitudinaler Wellen und über die so erschlossene Beschaffenheit des Erdinnern folgen.

Dritter Teil: Die endogen-dynamischen Vorgänge der Erde. Von Prof. Dr. E. Tams. S. 233—329. Diesen Teil, der Fragen aus dem Grenzgebiete zwischen Geophysik, Geologie und Geographie behandelt und somit eine sehr wertvolle Ergänzung zu den beiden ersten Teilen ist, wird auch der Fachmann sehr begrüßen. Das erste Kapitel ist dem Grundgerüste der Erdrinde gewidmet. Im einzeln werden die beiden Typen der Großformen der Erdrinde, der Kontinental-



block und das Tiefseebecken, die Entstehung der Kontinente und Ozeane, die Hypothese der Mondablösung und die Tetraederhypothese ausführlich besprochen. Im zweiten Kapitel gibt Tams einen Überblick über die Ursachen der Krustenbewegungen. Über Vulkanismus und Erdbeben (Ursachen, Häufigkeit, Verbreitung) handeln zwei weitere Abschnitte. Je zwei ausführlich diskutierte besonders lehrreiche Beispiele (Vulkanausbrüche Montagne Pélée 1902/03, Vesuv 1906 und Erdbeben San Franzisko 1906, Messina 1908) illustrieren ganz ausgezeichnet die Ausführungen des Verfassers. Im letzten Abschnitt werden die säkularen Verschiebungen der Grenzen zwischen Land und Meer vorgetragen.

R. Berger.

Dr. Walter Block, Handbuch der technischen Meßgeräte. Herausgegeben vom Ausschuß für wissenschaftliche Fertigung (AWF). 8⁰. 292 S. mit 88 Abb. Berlin 1923. 10 M.

Der Verfasser hat erstmalig versucht, in dem Handbuch ein Nachschlagewerk zu schaffen, das schon längst in der technischen Fachliteratur entbehrt wurde. Diese schwierige Aufgabe, einen so vielseitigen Stoff umfassend darzustellen, ist dem Verfasser gut gelungen. Es wurden in dem neuen Buche sämtliche wissenschaftlichen und technischen Meßgeräte in knapper Form systematisch behandelt. Obgleich hierbei zahlreiche geschickt ausgewählte Abbildungen verwendet wurden, so hätte doch zweckmäßig die Anzahl wesentlich größer sein können. Auch dürfte später der Ersatz von Photographien durch schematische Zeichnungen das Verständnis an vielen Stellen erleichtern. Für diesen Mangel sind allerdings weder Verfasser noch Herausgeber verantwortlich, er muß vielmehr der allgemeinen wirtschaftlichen Lage bei der Schaffung des Buches zur Last gelegt werden.

Der Verfasser wendet sich in erster Linie an die Meßtechniker. Ausgehend von der Bestimmung mathematischer Größen, werden die Messungen der physikalischen und technischen Grundeinheiten und der zusammengesetzten Größen der Mechanik, Akustik, Wärmelehre und Optik behandelt. Den Schluß bilden die elektrischen Meßgeräte, die trotz ihrer großen Anzahl nicht minder ausführlich dargestellt werden. Von einer kritischen Würdigung hat der Verfasser bewußt Abstand genommen.

Als Anhang ist ein nach Stichworten geordnetes Bezugsquellenverzeichnis der Instrumente beigegeben, das mit dazu beiträgt, das Buch zu einem rechten Nachschlagewerk auch für den Verbraucher zu gestalten. Es folgt dann ein Literaturverzeichnis über die wichtigsten neueren Arbeiten auf dem Gebiete der Meßkunde und anschließend eine Zusammenstellung vollständiger Versuchsanordnungen. Der Anhang, das sehr ausführliche Sachregister in deutscher, englischer, spanischer und französischer Sprache erhöhen die praktische Brauchbarkeit des neuen Handbuches, das jedem Meßtechniker die besten Dienste leisten wird.

Vg.

Dr. Hans Schulz. Das Glas. 8⁰. 180 Seiten u. 6 Tafeln. Verlag von Josef Kösel und Friedrich Pustet K. 9. München, Verlagsabteilung Kempten. 1923.

In der von Adalbert Deckert in obigem Verlag herausgegebene Sammlung „Lebende Bücher“ hat der bekannte wissenschaftliche Mitarbeiter der Optischen Anstalt C. P. Goerz A.-G. eine begrüßenswerte Zusammenstellung der Eigenschaften des Glases unter wesentlicher Berücksichtigung seiner Verwendung für wissenschaftliche Zwecke der verschiedensten Art gegeben.

Da die deutschen Qualitätsgläser vor dem Kriege den Weltmarkt fast ausschließlich beherrschten, hat sich während des Krieges in den Feindländern das Ausbleiben der deutschen Lieferungen in bedenkenerregender Weise fühlbar gemacht. Sie waren deshalb gezwungen, die Herstellung von Glas selbst zu versuchen. In England und Amerika hat man zu dem Zweck große finanzielle und wissenschaftliche Aufwendungen gemacht zur Herstellung von Qualitätsgläsern für optische und chemische Zwecke, sowie für Thermometer, und dabei bedeutende Erfolge erzielt. Es ist dem Verf. zu danken, daß er diese wertvollen Ergebnisse in weitem Umfange berücksichtigt. Ein ausführliches Literaturverzeichnis ermöglicht dem Interessenten, sich noch weiter in die Materie zu vertiefen.

Wenn auch der verhältnismäßig geringe Umfang des Buches eine gewisse Beschränkung


Digitized by Google

auferlegt, so ist es dem Verf. doch gelungen, eine befriedigende Vollständigkeit in der Darstellung zu erzielen. Die Darstellung ist bei Innehaltung der Wissenschaftlichkeit eine leicht verständliche.

Nach einer Geschichte des Glases und Angaben über seine Zusammensetzung werden die Veränderungen des Aggregatzustandes, das Schmelzen und Erstarren behandelt und der Einfluß von Beimengen auf den Schmelzpunkt, sowie das Verhalten des Glases bei höheren Temperaturen. In bezug auf das chemische Verhalten des Glases wird ausführlich seine Widerstandsfähigkeit gegen Licht, Wasser und sonstige basische oder saure Reagenzien behandelt. Darauf folgt die Wiedergabe der mechanischen, thermischen und optischen Eigenschaften des Glases. Letztere nehmen verdientermaßen einen breiten Raum ein. Die älteren Glasarten, Frauenhofers Gläser, sowie diejenigen des Jenaer und Sendlinger Werks finden Berücksichtigung, ebenso der Einfluß von Dichte und Temperatur auf den Brechungsindex, die Lichtabsorption in den verschiedenen Spektralbezirken. Der letzte Abschnitt beschäftigt sich mit der Herstellung und Verarbeitung des Glases einschließlich des Schleifens und Polierens, auch die Spannung im Glase, ein Gebiet, auf welchem bekanntlich der Verf. selbst mehrfach tätig gewesen ist, findet in Verbindung mit dem Kühlprozeß gebührende Würdigung.

Mehr als die vorstehende Inhaltsangabe kann hier nicht gegeben werden, wenn auch der sehr reiche Inhalt der Ausführungen einer eingehenderen Würdigung wert wären. Sie würde aber, um der Arbeit vollkommen gerecht zu werden, sehr umfangreich werden müssen. Das Buch vermittelt eine Kenntnis der Glaseigenschaften, die für jeden, der mit der Glastechnik irgendwelche Berührung hat, von großem Wert und Interesse sein muß.

H. Krüss.

W. O. Schumann, Elektrische Durchbruchfeldstärke von Gasen. Theoretische Grundlagen und Anwendung. gr. 8°, VII u. 246 S. mit 80 Textabb. Berlin: Julius Springer 1923. 7,20 G.-M., geb. 8,40 G.-M., 1,75 Doll,, geb. 2 Doll.

Ein eng umschriebenes Spezialgebiet ist von einem gründlichen Kenner umfassend und kritisch dargestellt. Die schon an sich reizvolle Frage nach dem Wesen des elektrischen Durchschlages von Gasen gewinnt ein dauernd zunehmendes praktisches Interesse dadurch, daß in verschiedenen Zweigen der Elektrotechnik, z. B. die elektrische Kraftübertragung und die Röntgentechnik, die Tendenz besteht, zu immer höheren Spannungen überzugehen. Damit entsteht auch für den Praktiker und nicht zuletzt für den Konstrukteur von Instrumenten, die unter Hochspannung Verwendung finden sollen, das Bedürfnis nach einem eingehenden Studium der „merkwürdigen Gesetze, welche die elektrische Durchbruchfeldstärke der Luft mit der geometrischen Anordnung der Elektroden verknüpfen.“ Für diesen Fall ist das vorliegende Buch ein verläßlicher Führer. Der Inhalt gliedert sich in drei Teile, von denen der erste auf 96 Seiten das vorliegende experimentelle Material mit zahlreichen Tabellen und graphischen Darstellungen sowie einem ausführlichen Literaturverzeichnis enthält. Teil II behandelt auf 72 Seiten die Theorie der selbständigen Entladung in Gasen ausgehend von den von Townsend entwickelten Vorstellungen, auf welchen der Verfasser unter Heranziehung der von Lenard an Kathodenstrahlen und von Frank und Hertz an Glühelektronen gewonnenen Meßergebnisse weiterbaut. Der dritte Teil wendet die Ergebnisse des zweiten auf das bisher am genauesten bekannte und praktisch wichtigste Gas, nämlich die atmosphärische Luft, an. Verf. kommt zu dem Ergebnis, daß „sich ein Gas in seiner Durchbruchfeldstärke für alle Elektrodenanordnungen charakterisieren läßt, indem lediglich Messungen im homogenen Felde ausgeführt werden, soweit die elektrostatische Feldverteilung in dem betreffenden Fall bekannt ist und soweit keine Polaritätseffekte auftreten“. Das ist aber gerade dasjenige, was den Praktiker interessiert und wofür er dem Verfasser Dank wissen wird. Die Ausstattung des Buches ist einwandfrei.

Behnken.

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.


Digitized by Google

OCT 2 1924

PERIODICAL ROOM
GENERAL LIBRARY
UNIV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **A. Schmidt** in Cöln a. Rh., **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang.

1924.

8. Heft: August.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1924.

Digitized by Google

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande nur durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Die Berechnung erfolgt heftweise.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei 1/4 1/2 1/1 Seite Umfang
30.— 60.— 120.— Goldmark

Bei 6 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist
10 20% Nachlaß.

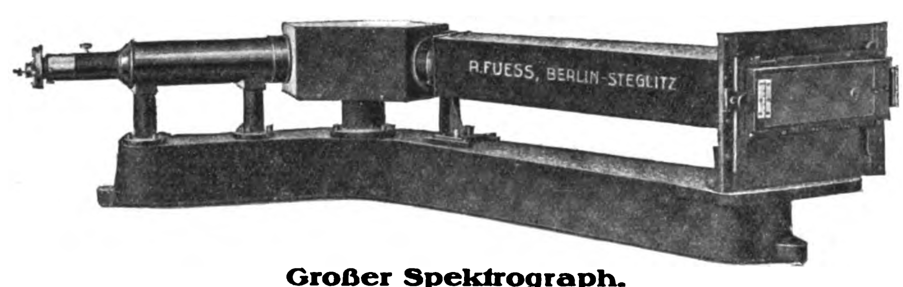
Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,30 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseingangs. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungsdatum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) nur auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch
Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

R. FUESS / Berlin-Steglitz

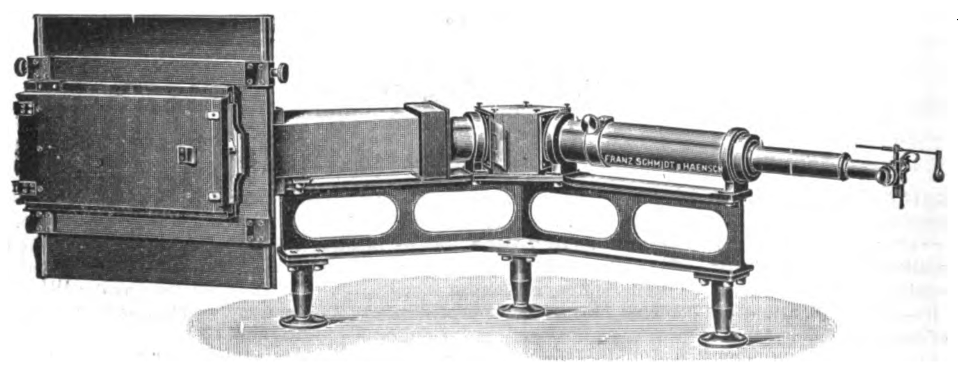


Großer Spektrograph.

R. FUESS BERLIN-STEGLITZ

Franz Schmidt & Haensch

Prinzessinnenstr. 16 **BERLIN S 42** Prinzessinnenstr. 16



Großer Quarzspektrograph

Polarisations-Spektral-Apparate sowie
Photometer für wissenschaftlichen und technischen Gebrauch.
Projektionsapparate, Spezial-Kugelepiskope und Epidiaskope.
Anomaloskope nach Nagel, Thornersche Augenspiegel.

Preislisten kostenfrei.

[6468]

Digitized by Google

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLIV. Jahrgang. **August 1924.** Achtes Heft.

Die experimentellen Grundlagen der Messung der durchdringenden Strahlung.

Von
Werner Kolhörster in Berlin.

Unter durchdringenden Strahlen sollen im folgenden alle die Strahlen verstanden werden, deren Durchdringungsvermögen größer, deren Absorptionskoeffizient daher kleiner ist, als der der bekannten schnellsten β-Teilchen radioaktiver Substanzen. Es handelt sich also, will man nicht noch unbekannte Strahlungstypen annehmen, in der Hauptsache um γ-Strahlen, deren hohes Durchdringungsvermögen eine einfache Trennung von den anderen Strahlengattungen durch absorbierende Schirme genügender Dicke gestattet. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß in Erdnähe hauptsächlich zwei Komponenten unterschieden werden können, erstens die von den radioaktiven Substanzen der obersten Bodenschichten ausgehenden γ-Strahlen, die wir als Erdstrahlung bezeichnen und zweitens eine von oben die Atmosphäre durchsetzende, sehr harte Strahlung, wahrscheinlich auch vom γ-Typ, die die Höhenstrahlung genannt wird. Diesen beiden gegenüber spielen die von den Radiosubstanzen der Luft ausgehenden γ-Strahlen kaum eine Rolle, da die Wirkung der Luftstrahlung mindestens eine Zehnerpotenz kleiner ist als jede der beiden erstgenannten Strahlungskomponenten und in die Meßfehlergrenze der heute benutzten Instrumente fällt. Daraus ergibt sich sogleich, daß auch Erd- und Höhenstrahlung nur geringe Wirkungen ausüben, so daß sie gerade noch mit einiger Sicherheit am Erdboden beobachtet werden können.

Die für die Erdstrahlung verantwortlichen radioaktiven Substanzen sind die γ-Strahlen der Uran-Radium-, Thorium- und Actiniumfamilien, die sich in den obersten Bodenschichten vorfinden. Denn für eine Wirkung nach außen kommen wegen der Absorption der γ-Strahlen in den durchsetzten Erdschichten größere Tiefen als höchstens 2 m Mächtigkeit überhaupt nicht mehr in Betracht, vielmehr entfällt der Hauptanteil auf die ersten Dezimeter. Diese bestehen aus der Verwitterungskruste anstehender Gesteine oder aus Sanden, Kieseln und Geröllen mit ihrem durch Witterungseinflüsse mehr oder weniger herabgesetzten Gehalt an radioaktiver Substanz, während die darunter liegenden Schichten trotz ihrer größeren Aktivität nur indirekten Einfluß gewinnen, insofern als die von ihnen ausgehenden Emanationen durch die Bodenatmung in die Oberflächenschichten transportiert werden und deren radioaktiven Gehalt erhöhen. Über die Aktivität der tieferen Schichten sind wir einigermaßen unterrichtet, während wir aus leichterklärlichen Gründen, nämlich wegen der örtlichen Verschiedenheiten der Verwitterungsvorgänge, die Aktivität der alleroberslen Schichten nur ungenügend berücksichtigen können.


Digitized by Google

Um einige Zahlen anzuführen, sei folgende kleine Übersicht gegeben, die sich auf Proben von frischem unzersetzten Gestein bezieht.

Saure Gesteine	vulkanisch	$3{,}1 \cdot 10^{-12}$ gr Ra/gr	$2{,}5 \cdot 10^{-5}$ gr Th/gr
	plutonisch	2,7 „ „	
Zwischenformen	vulkanisch	2,1 „ „	1,7 „
	plutonisch	1,9 „ „	
Basische Gesteine	vulkanisch	1,1 „ „	0,5 „
	plutonisch	0,9 „ „	
Sedimentäre Gesteine	Ton	1,5 „ „	1,3 „
	Sandsteine	1,4 „ „	0,5 „
	Kalke und Dolomite	0,9 „ „	0,1 „

Für das zersetzte Gestein der Verwitterungskruste kann man schätzungsweise etwa 10% der hier angeführten Werte annehmen. Doch spielt, wie bereits eben auseinandergesetzt, der Emanationstransport unter dem Einfluß der Bodenatmung eine wesentliche Rolle, indem die aus den Emanationen entstehenden aktiven Niederschläge die Aktivität der obersten wirksamen Zone zeitlich erhöhen, so daß die Erdstrahlung Schwankungen ausgesetzt ist, die auf die Witterungsverhältnisse und den physikalischen Zustand dieser Schichten zurückzuführen sind.

Dagegen ist die Höhenstrahlung, die nunmehr bis 9300 m Seehöhe direkt[1]), durch Registrierung sogar bis 15 km Höhe[2]) verfolgt werden konnte, in Erdnähe keinen oder nur so geringen Schwankungen unterworfen, daß diese zunächst garnicht in Betracht kommen. Um auch hier einige Zahlenangaben zu machen, seien die Mittelwerte meiner Ballonbeobachtungen[3]) angeführt, wobei die Intensität der Höhenstrahlung durch die von ihr in Zerstreuungsgefäßen aus Zink erzeugte Anzahl von Ionen cm^{-3} sek^{-1}, abgekürzt durch die Bezeichnung I, ausgedrückt ist. Die Zahlen bedeuten die Differenz der Ionisierungsstärke in den angegebenen Höhen, vermindert um den Bodenwert (vgl. Fig 1).

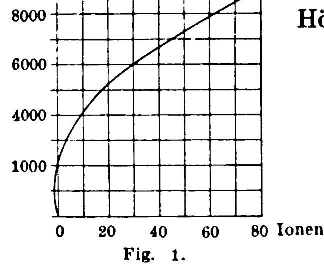


Fig. 1.

Höhe m	I	Höhe m	I
1000	— 1,5	6000	+ 28,0
2000	+ 1,0	7000	+ 45,2
3000	+ 4,2	8000	+ 62,5
4000	+ 9,1	9000	+ 79,0
5000	+ 16,2		

Im übrigen haben sowohl die Messungen auf den einzelnen Freiballonfahrten, als auch die Beobachtungen auf festem Standplatz im Hochgebirge[4]) direkt überraschende Übereinstimmung ergeben und die letzten Untersuchungen am Jungfraujoch haben die ersten experimentellen Andeutungen dafür geliefert, daß die Höhenstrahlung eine γ-Strahlung zu sein scheint, wie ja schon immer vermutet worden ist. Ebenso konnte ihr Absorptionskoeffizient im Verlaufe dieser Untersuchung wiederum an Luft,

[1]) W. Kolhörster, *V. u. L. der D. Physik. Ges.* **16.** *S. 719. 1914.*

[2]) R. A. Millikan and J. S. Bowen, *Phys. Rev.* **22.** *S. 198. 1923.*

[3]) W. Kolhörster, Die durchdringende Strahlung in der Atmosphäre. Hamburg 1924. (Erscheint soeben.)

[4]) A. Gockel, *Physik. Zeitschr.* **16.** *S. 345. 1915;* W. Kolhörster, *Berl. Ber.* **34.** *S. 366. 1923.* Russel M. Otis. *Phys. Rev.* **22.** *S. 199. 1923.*

Digitized by Google

Wasser und Gletschereis bestimmt werden. Er ergibt sich zu rund $3 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{cm}^{-1}$ umgerechnet für Wasser, während die Ballonbeobachtungen $5 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{cm}^{-1}$ [1]) geliefert hatten.

Die Messung der durchdringenden Strahlung beruht darauf, die Intensität außerordentlich schwacher γ-Strahlen mit möglichster Genauigkeit festzustellen, wobei die Trennung der beiden Komponenten der Erd- und der Höhenstrahlung durch besondere Versuchsbedingungen zu bewirken ist.

Die Bestimmung geringer Intensitäten von γ-Strahlen läßt sich im Prinzip durch photographisches Ionisations- und Zählverfahren ausführen, doch können als quantitative Methoden nach der ganzen Sachlage vorerst nur die beiden letzteren in Betracht kommen.

Für die Schwärzung der photographischen Platte ist die durchdringende Strahlung in Bodennähe viel zu schwach, um neben den durch andere, insbesondere chemische Einwirkungen bedingten Veränderungen der empfindlichen Schicht nachgewiesen zu werden. Sonst müßten auch sorgfältig verpackte Platten viel schneller verderben, als im allgemeinen beobachtet wird. Es ist aber nicht als ausgeschlossen zu betrachten, daß auch derartige Einflüsse an der nach jahrelangem Lagern der Platten eintretenden Verschleierung ihren Anteil haben. Wegen der starken Zunahme der Höhenstrahlung in den oberen Atmosphärenschichten könnte man wohl daran denken, sie in der Weise zu verfolgen, daß man durch Pilotballone kleine Platten möglichst hoch hinaufschickt. Diese müßten sorgfältig gegen Licht und andere Schwärzungseinflüsse geschützt, in dicke Metallhüllen mit ausgesparten Einschnitten verpackt werden, die sich dann abbilden würden. Aus den Registrierungen des Meteorographen könnte die Expositionszeit angenähert ermittelt werden, so daß ein Schluß auf die Strahlungsintensität möglich würde. Doch ist auch in den erreichbaren größten Höhen die Intensität der Strahlung wahrscheinlich noch so gering, daß bei der kurzen Flugdauer der Piloten derartige Versuche kaum mit einiger Aussicht auf Erfolg durchzuführen sein dürften. An quantitative Bestimmungen in dieser Weise ist wie gesagt vorerst gar nicht zu denken. Auch die Zählmethoden lassen uns bisher immer noch im Stich, wenn ich auch glaube, daß ihre Ausgestaltung in ganz bestimmter Richtung vielleicht schon recht bald die heute allein praktisch brauchbare Ionisationsmessung bei weitem übertreffen wird. Zur Zeit erfordern sie noch viel zu viel Apparatur, um bei diesen Beobachtungen, die ja meist auch außerhalb des Laboratoriums im unwirtlichen Hochgebirge oder auf Luftfahrten ausgeführt werden müssen, verwendbar zu sein.

Die Ionisationsmethode benutzt, wie schon ihr Name besagt, die ionisierende Wirkung der γ-Strahlen auf Gase. Leider ist diese wegen der geringen Absorption der Strahlen in Gasen auch nur recht schwach. In Luft erzeugt ein γ-Strahl auf seiner ganzen mittleren Weglänge von rund 250 m etwa $3 \cdot 10^4$ Ionenpaare, aber nur ungefähr 1 Ionenpaar auf einen Zentimeter Bahnlänge gegenüber den β- und α- Teilchen mit rund 100 beziehungsweise 10000 Ionenpaaren auf dem gleichen Wege, also diesen gegenüber eine sehr geringe Wirkung. In verschiedenen Gasen ist die Ionisation durch γ-Strahlen ungefähr proportional der Dichte wie folgende Übersicht zeigt:

Gas	Dichte	α	β	γ
Luft	1,00	1,00	1,00	1,00
H_2	0,069	0,24	0,165	0,160
O_2	1,11	1,15	1,17	1,16
CO_2	1,53	1,59	1,60	1,58
SO_2	2,19	2,01	2,25	2,27

[1]) W. Kolhörster, *Abh. d. Naturforsch. Ges. Halle.* Halle a. S. 1914. *Berl. Ber.* **34**. *S. 366. 1923.*

Digitized by Google

Der Ionisationsvorgang durch γ-Strahlen ist recht verwickelt. Denn wenn diese überhaupt ein Gas direkt zu ionisieren vermögen, so ist ihre Wirkung bei Gasen von Atmosphärendruck verschwindend klein und wird von der an den Gasmolekülen ausgelösten sekundären Korpuskularstrahlung vom β-Typ, die viel stärker ionisiert, übertroffen, noch mehr aber von den an den Wänden des Ionisationsgefäßes erzeugten Korpuskularstrahlen. Die durch γ-Strahlen hervorgerufene Ionisation ist also im wesentlichen der bei der Absorption der γ-Strahlen an den Gefäßwänden entstehenden Sekundärstrahlung zuzuschreiben.

Die Intensität dieser Korpuskularstrahlung hängt von dem Material und der Dicke der Ionisationsgefäße ab; von der Dicke insofern, als sie einen Volumeneffekt darstellt, von dem Material soweit sie durch die Absorption des γ-Strahls im Atom entsteht. Infolgedessen nimmt sie bei derselben Substanz mit wachsender Schichtdicke zu, nämlich so lange, als die im Innern entstehende Sekundärstrahlung noch bis zur Oberfläche vordringen kann. Während sie aber bei weiter anwachsender Schichtdicke auf der Eintrittsseite konstant bleibt, geht sie auf der Austrittsseite wieder zurück, weil auch die erregende Primärstrahlung durch die dicker werdenden Schichten immer stärker absorbiert wird. Für die Austrittsseite, und diese kommt für uns in Betracht, ergibt sich daraus das Vorhandensein der günstigsten Schichtdicken, die für Blei bei etwa 0,3, bei Aluminium bei etwa 2 mm Stärke liegen. Hieraus schon, noch deutlicher aus folgender Übersicht ergibt sich ferner die Abhängigkeit der korpuskularen Sekundärstrahlung von dem Atomgewicht der Substanz, in welcher sie entsteht. Auf der Eintrittsseite nimmt wiederum die Intensität mit wachsendem Atomgewicht dauernd zu, auf der Austrittsseite dagegen geht sie durch ein Maximum bei mittleren Dichten.

Vergleicht man weiter ihre Intensität auf der Eintritts- und Austrittsseite, so zeigt sich, daß sie sich ungleichmäßig in den Raum hinein verteilt und daß sie stärker in Richtung der Bahn der erregenden γ-Strahlen wirkt. Dies Verhalten, daneben noch die Zerstreuung der primären γ-Strahlen bei der Absorption bringen es mit sich, daß die von ein und denselben γ-Strahl unter gleichen Bedingungen in Ionisationsgefäßen aus verschiedenem Materiel erhaltenen Ionisierungsstärken verschieden groß ausfallen und daß, selbst wenn die Gefäße aus dem gleichen Material bestehen, noch eine Abhängigkeit von der geometrischen Form der Ionisationszylinder gefunden wird. So ist z. B. die Ionisationsstärke unter sonst gleichen Bedingungen in Bleigefäßen unter der Wirkung der γ-Strahlen des Ra C mehr als doppelt so groß als in gleich dimensionierten aus Aluminium, ferner in kleineren Zylindern stärker als in größeren, weil die Oberfläche bei Vergrößerung der Gefäße hinter dem Volumen zurückbleibt und die Sekundärstrahlung vorzugsweise an den Wänden entsteht.

Substanz	Weiche γ-Strahlung		Harte γ-Strahlung	
	Eintrittsseite	Austrittsseite	Eintrittsseite	Austrittsseite
Kohle	170	2280	58	1150
Aluminium	280	1810	120	795
Schwefel	340	1575	154	685
Eisen	487	1350	163	560
Kupfer	558	—	202	523
Zink	618	1160	774	485
Zinn	1051	1170	355	305
Blei	1723	2001	497	470

Digitized by Google

Die Sekundärstrahlung ist in bezug auf Absorption etwa den β-Strahlen des Radiums gleichzusetzen. Ihre Durchdringungsfähigkeit wächst, bzw. nimmt ab entsprechend der erregenden γ-Strahlung; der Qualität nach ist sie aber von der Natur der Substanz, in der sie entsteht, unabhängig. Aus allem folgt also: Die von γ-Strahlen hervorgerufene Ionisation ist ein Sekundäreffekt, abhängig von den Versuchsbedingungen; daher ist die durch die Bestimmung der Ionisierungsstärke eines Strahles in einem Ionisationsgefäße gemessene Strahlungsintensität zunächst nur gültig für das benutzte Instrument, ist also ein relatives Maß. Bestimmt man aber für ein solches Ionisationsgefäß die von einem Radiumpräparat bekannter Menge erzeugte Ionisierungsstärke, so wird die Messung auf absolute Radiummengen bezogen, wodurch die verschiedenen Angaben verschiedener Instrumente direkt vergleichbar werden.

Bei der praktischen Ausführung der Messungen arbeitet man wegen der geringen Effekte immer mit Sättigungsstrom. Man bringt im Innern des Ionisationsgefäßes eine isolierte Elektrode symmetrisch zu den Wandungen an und verbindet mit ihr ein Elektrometer. Ladet man das isolierte System zu einem wegen Erzielung des Sättigungsstromes genügend hohen Potential auf, so wandern unter der Einwirkung des zwischen Elektrode und geerdeten Wandungen entstehenden elektrischen Feldes die Ionen im Zylindervolumen entsprechend ihrem Vorzeichen und entladen das isolierte System, dessen Entladungsgeschwindigkeit gemessen wird (Entlademethode). Selbstverständlich kann man auch umgekehrt verfahren, d. h. den Zylinder isolieren, ihn zu konstantem hohen Potential aufladen, wobei Elektrometer sowie Innenelektrode zunächst geerdet sind. Nach aufgehobener Erdung beobachtet man dann die Aufladung mit der Zeit (Auflademethode).

Sei C die Kapazität des isolierten Systems (Elektrode + Elektrometer), N die Anzahl der im Kubikzentimeter in einer Sekunde entstehenden Ionenpaare, e die Elementarladung ($4{,}77 \cdot 10^{-10}$ elst. Einheiten), $\mathfrak{B}$ das sogenannte nutzbare Luftvolumen in cm^3 und $\frac{dv}{dt}$ die Voltänderung in der Sekunde, so wird der Strom

$$N \cdot e \cdot \mathfrak{B} = \frac{C}{300} \cdot \frac{dv}{dt},$$

also

$$N = \frac{C}{300} \cdot \frac{1}{e\,\mathfrak{B}} \cdot \frac{dv}{dt}. \quad [\mathrm{I} = \text{Ionen cm}^{-3}\,\text{sek}^{-1}]$$

und das beobachtete

$$\frac{dv}{dt} = \frac{300}{C} \cdot N e \mathfrak{B} \; [\text{Volt sek}^{-1}].$$

$\frac{dv}{dt}$ ist also für eine konstante Ionisierungsstärke von N-Ionen $\text{cm}^{-3}\,\text{sek}^{-1}$ direkt proportional dem Volumen $\mathfrak{B}$, umgekehrt proportional der Kapazität C. Das bedeutet, zur Erzielung möglichst großer Werte von $\frac{dv}{dt}$ muß das Volumen groß, die Kapazität klein sein. Dementsprechend ist also die instrumentelle Anordnung zu treffen, wobei die Empfindlichkeit der Elektrometer natürlich zu berücksichtigen bleibt.

Arbeitet man nach dem Entladeverfahren, was den besonderen Vorteil hat, daß man keine größere Batterie zur Erzielung der hohen konstanten Spannung braucht, so müssen sich die Elektrometer zu höherem Potential aufladen lassen, wobei ihre Empfindlichkeit nur verhältnismäßig klein gewählt werden kann. Dann aber erspart man erheblich dadurch an Kapazität, daß man Fadenelektrometer wählt, bei denen der Faden die Rolle der Innenelektrode übernimmt. Man kommt so zu Kapazitäten von rund 1 cm für das isolierte System, muß aber die Instrumente fest in die

Digitized by Google

Ionisationsgefäße einbauen. Die kleine Kapazität gestattet also, trotz der geringen Voltempfindlichkeit (1 Skalenteil etwa 1 bis 2 V) eine hohe Stromempfindlichkeit zu erzielen.

Bei der Auflademethode ist man in bezug auf die Voltempfindlichkeit der Elektrometer nicht beschränkt, muß aber dafür die hohe Kapazität, ferner die große Batterie und recht empfindliche Apparate in Kauf nehmen. Allerdings sind die modernen Einfadenelektrometer auch für solche Apparate, die man mit Vorteil als stationäre Instrumente verwendet, außerordentlich günstig, obwohl derartige Anordnungen selbst mit Quadrantelektrometer betrieben werden können. Das ist wichtig, wenn es sich um langdauernde Registrierungen handelt, bei denen man immer gern mechanischen Registriervorrichtung wie beim Benndorf-Elektrometer aus Sparsamkeitsrücksichten den Vorzug gibt gegenüber der teueren photographischen Registrierung bei Fadenelektrometern.

Beide Verfahren bedingen also Vor- und Nachteile. Bei der Entlademethode erzielt man ein verhältnismäßig leichtes, auch schwierigen Transporten gewachsenes, allerdings etwas unempfindliches Instrumentarium; die Auflademethode bedingt eine umfangreiche, daher Störungen leichter ausgesetzte und nur bedingt transportfähige, dafür aber bedeutend empfindlichere Apparatur. Je nach der Richtung, in die die beabsichtigten Versuche zielen, wird man daher der einen oder anderen Anordnung den Vorzug geben müssen, wobei allerdings nicht zu verkennen ist, daß die nach dem Entladeverfahren gebauten Instrumente vielseitigere Verwendung zulassen.

Über die Elektrometer wurde bereits gesagt, daß sie vor allem hohe Stromempfindlichkeit aufweisen müssen. Blatt- und Fadenelektrometer ohne Hilfsladung gestatten wegen ihrer verhältnismäßig kleinen Kapazität die Verwendung ziemlich unempfindlicher Systeme, bei Instrumenten mit Hilfsladung, insbesondere Quadrantelektrometern, ist die größere Kapazität durch erhöhte Empfindlichkeit auszugleichen. Anfänglich benutzte man allgemein Blattelektrometer mit einem oder zwei Blättchen, die mit Mikroskop und Okularskala abgelesen wurden. Bei Anbringung im Innern des Ionisationsgefäßes tritt dann der verlängerte Blattträger an Stelle der Innenelektrode, sonst hat man sie oft in einem besonderen Kästchen außerhalb des Ionisationszylinders angebracht, um sie bequemer zugänglich zu machen. Von englischer und amerikanischer Seite wurde dann später vielfach das Wilsonsche kompensierende Blattelektrometer verwendet. Jedoch haben sich bei weitem günstiger als alle diese Instrumente die Wulfschen Zweifadenelektrometer erwiesen. Das verhältnismäßig große, ungefähr 60 mm lange Fadenpaar kann gerade wegen seiner Länge die isolierte Elektrode ersetzen, und das weite Gesichtsfeld bietet den Vorteil, ohne erneute Aufladung längere Zeit beobachten zu können. Allerdings ist die Feldverteilung zwischen den außerordentlich dünnen Fäden und den Wandungen sehr unregelmäßig, was aber nicht wesentlich stört, solange das Elektrometer immer zu demselben Vorzeichen geladen wird, also die Feldrichtung ungeändert bleibt. Ungünstig ist bei allen diesen Elektrometern, daß die Mikroskopobjektive verhältnismäßig dicht an die Fäden herangebracht werden müssen (durchschnittlich etwa 20 mm Abstand), wodurch sogenannte tote Ecken entstehen, wenn die Mikroskope eingebaut sind. In diesen toten Ecken ist gewöhnlich das elektrische Feld zu schwach, um Sättigungsstrom erzielen zu lassen. Es können sich also an solchen Stellen Ionen ansammeln, die dann von Zeit zu Zeit erst durch mechanischen Transport, meist Wärmeströmungen, an die Elektrode herangeführt werden und Schwankungen in den Einzelbeobachtungen hervorzurufen vermögen; ähnliche Störungen sind auch bei den dünnen Fäden der Wulf-Elektrometer wegen

Digitized by Google

der ungleichmäßigen Feldverteilung nicht ausgeschlossen. Es erscheint daher ratsam, eine etwas stärkere Innenelektrode zu wählen, wobei sich dann aber die vorteilhafte Verwendung der Wulf-Elektrometer, nämlich als Elektrode zu dienen und Kapazität zu sparen, verbietet. Insofern ist das von mir neuerdings konstruierte Elektrometer vorteilhafter, weil es infolge seiner kurzen Fäden auf die Innenelektrode aufgesetzt werden muß und bei geschickten Abmessungen Kapazitäten von 0,4 cm und noch darunter erreichen läßt, während die Wulf-Instrumente ungefähr 1 cm Kapazität besitzen. Ferner bieten diese Elektrometer den ganz besonderen Vorteil, daß sie ohne eine Temperaturkompensation arbeiten, die bei den Wulf-Elektrometern unbedingt erforderlich ist. Da aber jede Kompensation, auch wenn sie noch so vorzüglich ausgeführt wurde, bei schnellen und stärkeren Temperaturänderungen nachhinkt und bei ungleichmäßiger Temperaturverteilung nicht sicher arbeiten kann, so ist damit ein wesentlicher Fortschritt erzielt.

Die hier behandelten Elektrometer dienen im allgemeinen zum Einbau in die Ionisationsgefäße, wenn die Instrumente hauptsächlich für die Entlademethode Verwendung finden sollen. Die mit solchen Aggregaten erzielte Empfindlichkeit ist wegen der kleinen Kapazität des isolierten Systems bereits recht hoch, kann aber, wie erwähnt, durch Instrumente, die nach der Auflademethode arbeiten, noch bedeutend übertroffen werden. Bevor man sich zu einer solchen Anordnung der Einfadenelektrometer mit Hilfsladung bediente, benutzte man vielfach Quadrantelektrometer. Infolge ihrer großen Kapazität (30—50 cm) mußte man aber mindestens eine 30- bis 50 fach höhere Empfindlichkeit anwenden, wenn man nicht das nutzbare Luftvolumen der Ionisationsgefäße vergrößert. Doch ist dieser Ausweg nur bis zu einem bestimmten Betrage gangbar, wenn nicht die Instrumente zu groß werden sollen. Zur Erzielung des Sättigungsstromes braucht man in diesem Falle recht hohe Potentiale, wodurch umfangreichere größere Batterien für die Hilfsladung nötig werden. Daher geht man bei diesen stationären Apparaten gewöhnlich nicht über 300 Liter haltende Ionisationsgefäße hinaus. Damit kommt man jedoch schon einen ganz erheblichen Schritt weiter und ist z. B. mit dem Benndorf-Elektrometer in der Lage, mechanisch registrieren zu können. Benutzt man dagegen die modernen Einfadenelektrometer, so liegen die Verhältnisse so günstig, daß man sogar in bezug auf die Abmessungen der Instrumente wieder zu kleineren, hoch empfindlichen Aggregaten kommt. Leider aber sind solche Zusammenstellungen mechanischen Störungen und Witterungseinflüssen doch zu sehr ausgesetzt, als daß sie ohne entsprechende Schutzvorrichtungen in Freiballon oder Hochgebirge verwendet werden könnten, selbst auch dann, wenn hier die ohne Temperaturkompensation arbeitenden Elektrometer meiner Konstruktion verwendet werden. Man denke nur z. B. an die durch die Temperaturschwankungen bedingten großen Potentialänderungen der Batterie für die konstante Hilfsspannung. Zum Gebrauch in Laboratorien oder an Orten, wo man gegen derartige äußere Einwirkungen genügend geschützt ist, also auf Bergobservatorien, sind dagegen solche Anordnungen die gegebenen Instrumente zur weiteren Erforschung der Höhenstrahlung.

Die zum Aufbau erforderlichen Ionisationsgefäße sollen im allgemeinen vollständig luftdicht schließen. Denn die geringste Undichtigkeit gibt unter den täglichen Temperatur- und Druckschwankungen der Außenluft Gelegenheit, ins Innere einzudringen. Mit ihr wandern die radioaktiven Emanationen und durch diese dauernde Infektion steigt die Eigenstrahlung der Zylinder allmählich an. Undichte Gefäße, in der ersten Zeit der Beobachtungen ohne weiteres in den Kauf genommen oder aus bestimmten Gründen sogar bevorzugt, sind heute für exakte Messungen der durchdringenden


Digitized by Google

Strahlung nicht mehr zulässig. Die für Innenelektrometer benötigte Ladesonde ist bei gut eingeschliffenem verschraubten Konus meist ausreichend und hat sich z. B. bei meinen Beobachtungen am Jungfraujoch selbst langdauernden Überdrucken gegenüber bewährt. Magnetische Ladesonden, wie ich sie für die Ballonapparate angegeben habe, sind mechanischen jedoch immer überlegen, besonders wenn es sich um größere Druckdifferenzen handelt.

Die Stärke der Wandungen der Ionisationsgefäße soll so groß sein, daß alle β-Strahlen mit Sicherheit absorbiert werden. Auch hiergegen war man früher recht tolerant, obwohl größere Wandstärke kaum schaden kann. Denn die Absorption der durchdringenden γ-Strahlen ist auch bei dickeren Wandungen noch immer gering.

Während man zunächst die Ionisationsgefäße aus allen möglichen Metallen, insbesondere aus Blei herstellte, ist man nach und nach zu solchen aus Eisen, Kupfer, Aluminium, schließlich aber allgemein zu Zinkgefäßen übergegangen. Selbst aus Eis hat man Ionisationszylinder hergestellt. Schwere Metalle wie Blei, oder Isotope anderer radioaktiver Substanzen, wie Zinn und Wismut, sind immer wegen radioaktiver Infektionen verdächtig. Die in solchen Gefäßen meist beobachtete hohe Eigenstrahlung ist wenigstens teilweise auf die Wirkung solcher Aktivitäten zurückzuführen. Ferner trägt zu der hohen Ionisation bei, daß die Metalle von hoher Dichte die eindringende Primärstrahlung besser in die für die Ionisation wesentliche sekundäre Korpuskularstrahlung umsetzen. Wir sind zwar heute noch zu wenig über die hier obwaltenden Umstände unterrichtet, um ein abschließendes Urteil zu fällen, müssen uns aber bei der Wichtigkeit, die diese Frage für unsere Aufgabe hat, doch noch etwas eingehender mit ihr beschäftigen und dazu die einzelnen Strahlungskomponenten näher definieren.

Bekanntlich mißt man die gesamte im Gefäße auftretende Ionisation und bestimmt die einzelnen Komponenten als Differenzen der Ionisierungsstärken, nachdem man die für sie in Betracht kommenden Strahlungsquellen abgeschirmt hat. So erhält man z. B. die Erdstrahlung als Differenz der Ionisierungsstärken über festem Boden und ausgedehnten Schirmen von Wasser, Eis oder sonst nicht strahlendem Material, die Luftstrahlung als Differenz bei Messungen über Wasser und in 1 bis 2 m Wassertiefe, die Höhenstrahlung als Differenz der Strahlungsstärke zwischen geringer und großer Wassertiefe (etwa 1 m gegen 8 bis 10 m) bzw. unter entsprechenden Bedingungen bei anderen Schirmen. Der bei genügender allseitiger Abschirmung dann noch immer vorhandene Ionisationsstrom wird der Rest- oder Eigenstrahlung des Gefäßes zugeschrieben. Natürlich müssen hierbei auch die selbst am besten Isolator eintretenden Elektrizitätsverluste berücksicktigt werden, die zwar durch die experimentelle Erfahrung schon bis auf 1 bis 2% der gesamten Ionisierungsstärke herabgedrückt, also meist so klein sind, daß sie in die Meßfehlergrenze fallen, über deren Größe man sich aber erst von Fall zu Fall zu unterrichten haben wird.

Es hatte sich, als man die Trennung der einzelnen Strahlungskomponenten vornahm, herausgestellt, daß diese sämtlich von der Eigenstrahlung der Ionisationsgefäße übertroffen werden. Daher mußte man, um die eigentlich gesuchten Effekte besser messen zu können, Material für die Zylinder ausfindig machen, welches die geringste Eigenstrahlung aufweist. Dabei zeigte sich, daß das Verhalten der untersuchten Substanzen meist durch kräftiges mechanisches, wohl auch durch chemisches Reinigen der inneren Wände der Gefäße bedeutend verbessert werden konnte, mit anderen Worten, die Oberflächen erwiesen sich vielfach als radioaktiv infiziert. Das war zu erwarten, denn schon allein beim Stehen an der Luft schlagen sich die in ihr enthaltenen Emanationen bzw. ihre Folgeprodukte auf ihnen nieder. Aber auch gut ge-

Digitized by Google

reinigte Oberflächen verschiedener Metalle ergaben manchmal beträchtliche Unterschiede. Hier konnte man an Infektionen denken, denen das Metall vielfach schon im Erz oder sonstwie im Gange der Herstellung ausgesetzt worden war. Solche innerhalb des ganzen Materials verteilten Infektionsherde lassen auch erklären, weshalb einzelne Zylinder nach Reinigung manchmal Erhöhung der Eigenstrahlung aufweisen. Durch das Abheben der Oberfläche gelangen tiefer gelegene Infektionsherde nunmehr zur Wirksamkeit.

Wie man sieht, ist man bei der Auswahl des Materials also stets Zufälligkeiten ausgesetzt; aber die Versuche führten doch zu dem Ergebnis, daß Zink gut gereinigt und noch mit einer elektrolytisch aufgetragenen neuen Oberfläche aus Zink versehen, bisher die niedrigsten Zerstreuungswerte lieferte. Diese nehmen im allgemeinen zu in der Reihenfolge: Aluminium, Eisen, Messing, Kupfer, Zinn, Blei, also ungefähr mit der Dichte oder Atomnummer.

Die oft gefundene hohe Ionisierungsstärke bei Blei ist wohl ziemlich sicher radioaktiven Infektionen zuzuschreiben, die man chemisch hat abtrennen können. Andrerseits haben aber auch Gefäße aus genügend altem Blei, vielfach von englischen und amerikanischen Forschern benutzt, durchaus normale Zerstreuungswerte geliefert. Ähnliche Verhältnisse scheinen bei Kupferzylindern vorzuliegen. Etwas höhere Werte als bei Zink werden in Kupfer fast stets beobachtet, größere Eigenstrahlung jedoch läßt radioaktive Infektion vermuten. Von Schweidler berechnet z. B. bei einem solchen Kupferzylinder eine radioaktive Infektion, die nachweisbar sein müßte, was jedoch leider bisher nicht nachgeprüft worden ist. Abgesehen von derartigen Ausnahmen könnte man solche Beobachtungen ebenfalls durch eine Eigenaktivität der Metalle erklären, die mit höheren Atomnummern ansteigen sollte; da aber die Versuche ohne Ausschaltung der von außen kommenden durchdringenden Strahlung ausgeführt worden sind, so offenbart sich in den bisherigen Ergebnissen vielleicht nur die mit wachsendem Atomgewicht zunehmende Erzeugung korpuskularer Sekundärstrahlung durch die von außen in die Gefäße eindringende γ-Strahlung.

Diese Auffassung scheinen unsere Untersuchungen zu stützen. Denn beobachtet man zunächst die durchdringende Strahlung im Zylinder (die sogenannte natürliche Zerstreuung), dann die in ihm von einem schwachen γ-Strahl erzeugte Ionisierungsstärke und macht solche Messungen mit verschiedenen Metallen, indem man diese z. B. in den Ionisationszylinder einlegt, so ergeben sich günstigere Bedingungen für die Messung der durchdringenden Strahlung bei hochatomigen Substanzen. Es steht nämlich einer geringen Zunahme der natürlichen Zerstreuung eine stärkere Ionisationswirkung der von außen eindringenden γ-Strahlen gegenüber.

Bei radioaktiver Infektion des eingebrachten Metallblechs zeigt sich selbstverständlich eine beträchtlich höhere natürliche Zerstreuung, wodurch man auf diese Weise sogleich die Bleche auf ihre Verwendbarkeit prüfen kann, ohne erst Zeit und Arbeit auf die Herstellung von Zylindern aus ihnen zu verlieren. Derartige Versuche haben in neuester Zeit dazu geführt, dis Wirkung der durchdringenden Strahlung durch Verwendung von Metallen höherer Atomnummer direkt zu steigern, während man sich früher bemühte, erst einmal die Eigenstrahlung soweit als irgend möglich herabzudrücken, um indirekt eine größere Meßgenauigkeit zu erzielen. Daß man mit der Verwendung von schweratomigen Metallen zunächst noch sehr vorsichtig verfahren muß, ist wegen der bisher nicht recht geklärten Sachlage selbstverständlich; vielleicht sind hierauf die negativen Ergebnisse von Marsden[1]) zurückzuführen. Aber selbst wenn man auch

[1]) E. Marsden, *Terr. Magn. u. Atm. El. Sp. 111. 1912.*


Digitized by Google

anfänglich günstige Resultate erzielt, so besitzen wir doch noch nicht genügende Erfahrung darüber, ob sich nicht mit längerer Zeit Störungen einstellen. Aus diesen Gründen habe ich z. B. bei meinen letzten Messungen am Jungfraujoch noch Zinkzylindern den Vorzug gegeben, während man wohl später dazu wird übergehen können, das Innere solcher Zylinder mit schweren Metallen auszukleiden, um ein besseres Umsetzungsverhältnis der durchdringenden Strahlung zu erhalten.

Zu gleichem Zweck hat man auch schon des öfteren dichtere Gase als Luft zum Füllen der Ionisationszylinder verwendet. Doch ist die dadurch erzielte Erhöhung der Effekte, wie bereits auseinandergesetzt, zu unbedeutend, um dafür gewisse Schwierigkeiten in den Kauf zu nehmen, die sich beim Arbeiten mit solchen Zylindern außerhalb des Laboratoriums einstellen können. Sehr dichte Gase, wie Nickelkarbonyl sind außerhalb des Laboratoriums meist nicht verwendbar, weil ihre Kondensationspunkte zu hoch liegen, und sie sind, wie fast alle anderen Gase, für Nachfüllungen nicht gleich zur Hand oder radioaktiv verdächtig (Azetylen). Es kommen bei Expeditionen daher zunächst kaum etwas anderes als Luft oder eventuell Kohlensäure in Frage. Die zur Füllung benutzten Gase sollen gealtert sein, damit in ihnen eventuell enthaltene Spuren von Emanationen abgeklungen sind oder sie müssen durch Ausfrieren bzw. Absorption an Kokosnuß-Kohle bei tiefer Temperatur von diesen befreit werden. Das Ausfrieren trocknet gleichzeitig, ferner werden aktive Niederschläge, Staub, Molionen und dergleichen durch Wattefilter zurückgehalten. Nach beendigter Füllung wird der Füllansatz meist durch ein Trockengefäß ersetzt, das am besten mit metallischem Natrium beschickt ist. Die Verwendung anderer Trockenmittel wie Phosphorpentoxyd oder Kalziumkarbid ist nicht zu empfehlen.

Die Ionisationsgefäße werden fast stets in Zylinderform hergestellt, wobei die isolierte Elektrode oder das an ihrer Stelle einzubauende Elektrometer am besten in der Zylinderachse angebracht wird. Um Kapazität zu sparen, besonders wenn man nicht, wie beim *Wulf*-Elktrometer an eine bestimmte Länge der Fäden gebunden ist, stellt man die Ionisationsgefäße möglichst gedrungen, also von nahezu quadratischem Querschnitt her. Dann ist das elektrische Feld fast überallhin gleich stark. Tote Ecken sind möglichst zu vermeiden, deshalb sollte auch die Ladesonde so angebracht werden, daß sie im Ruhestande möglichst nahe an der Zylinderwand anliegt. Andere in das Innere hineinreichende Teile, meist handelt es sich nur noch um den vorderen Tubus des Ablesemikroskops, umgibt man vorteilhaft mit kleinen Trichtern zur Abschirmung toter Ecken.

Damit sind die wesentlichen Gesichtspunkte, wie sie für den Aufbau der Instrumente in Betracht kommen, auseinander gesetzt und wir brauchen uns nur noch mit der Praxis der Messungen zu befassen, bevor wir zur kurzen Beschreibung von besonderen Apparaten übergehen.

Die Messungen bestehen in der prinzipiell einfachen Bestimmung des Voltverlustes über eine gewisse Zeit. Je nach der Empfindlichkeit der Instrumente dauert eine Einzelbeobachtung einige Minuten bis mehrere Stunden. Man wird daher für die meisten Fälle mit einer gutgehenden Taschenuhr zur Zeitbestimmung völlig auskommen. Handelt es sich aber darum, schon über kürzere Zeiten, mit nicht besonders empfindlichen Apparaten brauchbare Ergebnisse zu erzielen, z. B. auf Ballonfahrten wegen der wechselnden Höhenlage, so wendet man vorteilhaft Reihenbeobachtung an. Zu dem Zweck liest man in kürzeren Zeiten die Instrumente ab, macht eine gerade Anzahl ($2n$) von Beobachtungen und kombiniert, indem man den Satz halbiert

Digitized by Google

oder je nach dem Bedürfnis weiter unterteilt, Ablesung 1 mit $(n+1)$, 2 mit $(n+2)$ usf.

Als Maß der Strahlung pflegt man die Ionisierungsstärke, d. h. die pro Kubikzentimeter und Sekunde zur Entladung gebrachte Ionenzahl eines Vorzeichens anzugeben, die aber, wie wir bereits sahen, nur ein relatives Maß darstellt, weil dies zunächst nur für den beobachteten Ionisationszylinder Gültigkeit hat. Erst durch Eichung der Instrumente auf absolute Radiummengen werden die mit verschiedenen Apparaten gewonnenen Ergebnisse direkt vergleichbar. Über Einzelheiten derartiger Eichungen findet man genauere Angaben in der Literatur[1]).

Im allgemeinen verfährt man in der Weise, daß man die Ionisierungsstärke in den Instrumenten unter dem Einfluß der γ-Strahlen eines Radiumpräparates bekannter Stärke und unter ganz bestimmten Bedingungen feststellt, die möglichst denen gleichen, unter welchen die späteren Beobachtungen gemacht werden sollen. Nach Berücksichtigung der Absorption der γ-Strahlen in dem Umschlußröhrchen des Präparates, in der Luftstrecke zwischen ihm und dem Instrument und in den Wandungen erhält man eine Ionisationsstärke, die auf 1 g Radium im Gleichgewicht und die Entfernnng 1 cm von der Gefäßmitte, umgerechnet wird. Weitere Korrektionen wegen Einflusses der Umgebung (Boden, Tische, Wände und dergleichen erzeugen Sekundärstrahlen von merklichen Wirkung) und der Unsymmetrie der Ionisationszylinder werden sodann experimentell ermittelt und angebracht, so daß man schließlich die Ionisierungsstärke bekommt, die in einem freischwebenden Instrumente durch 1 g Radium im Abstand 1 cm von der Gefäßmitte hervorgerufen wird. Selbstverständlich ist auch auf die Dichte des Füllgases umzurechnen. Man ist also nunmehr in der Lage, die in einem so geeichten Apparate gefundene Ionisierungsstärke durch Gramm Radium auszudrücken. Solche Absoluteichungen sind etwas umständliche Arbeiten, die aber, einmal ausgeführt, kaum wiederholt zu werden brauchen. Dagegen sollten relative Eichungen mit γ-Strahlen ebenso oft wie Volteichungen der Elektrometer ausgeführt werden, gestatten sie doch in Verbindung mit diesen in einfachster Weise das Dichthalten der Apparate zu kontrollieren, was bei Expeditionen im Hochgebirge, wo die Zylinder unter dauerndem Überdruck stehen, besonders wichtig ist.

Zu diesem Zweck mag man an geeigneter Stelle der Außenwand der Zylinder Anschläge anbringen lassen, auf die man ein längeres Rähmchen aus Aluminumrohr aufstecken kann, an welchem das passend gewählte schwache Radiumpräparat ein für allemal fest eingeschraubt ist. Zur Eichung benutzt man am bestem Präparate von solcher Stärke, daß die von ihnen erzeugte Ionisation etwa in die Größenordnung der zu messenden Effekte fällt. Diese entsprechen bei meinen Instrumenten ungefähr der Wirkung von 1 mg Radium im Abstande von 10 m von der Apparatmitte, also bei einem Abstande von 50 cm, wie ihn die erwähnten Aluminiumrahmen etwa haben, ist ein Radiumpräparat von rund $^1/_{1000}$ mg verwendbar. Sonst bringt man zur Kontrolle des Dichthaltens bei großen Ionisationsgefäßen vielfach kleine Dosenbarometer an, die den Druck des Füllgases direkt abzulesen gestatten.

Isolationsprüfungen, d. h. Bestimmungen des Elektrizitätsverlustes über die Isolatoren des Elektrometers und der Ionisationskammer mußten bei nicht ganz dichten Instrumenten öfters ausgeführt werden, insbesondere wenn Gaswechsel durch Druck und

---

[1]) V. F. Hess, *Physikal. Zeitschr.* ***14.*** *S. 610. 1913.* — W. Kolhörster, *Abh. d. Naturf. Ges. Halle. Halle a. S. 1914.*


Digitized by Google

Temperaturschwankungen Verschlechterung der Isolation vermuten ließen. Dazu ist je nach der Bauart der Apparate zu verfahren. Im Prinzip handelt es sich darum, die Elektrizitätszerstreuung (n) über das Gasvolumen auszuschalten, um aus der Differenz $(n + i) - n$ die Isolationsverluste (i) zu bestimmen. Läßt sich der Ionisationsraum vom Elektrometer trennen, so ist das Vorgehen ohne weiteres klar. Man entfernt die isolierte Elektrode und überdeckt das kurze Ansatzstück mit einer Kapsel von kleinem Volumen, wie die beistehende Skizze (Fig. 2) zeigt, bei der E das Elektrometer, D den Deckel des Ionisationszylinders bedeuten und K die Kapsel darstellt. Das kommt also auf eine Verkleinerung des Ionisationsvolumens heraus. Befindet sich das Elektrometer fest im Ionisationsraum eingebaut, so schiebt man ein entsprechend großes möglichst enges Rohr über das System. Dabei ist die Anordnung von *Wulf* so getroffen worden, daß dies Rohr in einem zweiten, das an der Ionisationskammer befestigt ist, hochgezogen und festgeschraubt werden kann. Das Rohr selbst ist durch eine gefettete Ledermanschette gut abgedichtet, um Luftwechsel möglichst zu vermeiden. Ist eine derartige Anordnung nicht vorgesehen, so macht man bei dichten Instrumenten zwei Beobachtungen, einmal unter normalem, dann unter entsprechend vermindertem Druck, woraus sich der Isolationsverlust berechnen läßt. Indessen hat sich gezeigt, daß bei Isolatoren, wie Bernstein, Quarz, Schwefel, die Isolationsverluste meist sehr gering sind und daß Isolationsstörungen nur in recht seltenen Fällen auftreten, so daß also solche Eingriffe, wie es nun einmal Isolationsproben sind, nur in den dringendsten Fällen Berechtigung haben. Man hat daher neuerdings meist auf den Einbau besonderer Isolationsprüfer verzichtet, zumal dadurch bessere Gewähr für Dichthalten der Apparate geboten wird.

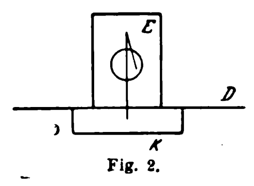


Fig. 2.

Damit wären die für die Messung der durchdringenden Strahlung wesentlichen Gesichtspunkte allgemein besprochen. Es erübrigt sich die nähere Beschreibung einzelner, von verschiedenen Forschern benutzter Apparate. Nur der *Wulf*sche Strahlungsapparat der durch die neueren Untersuchungen zu einer Art Standardinstrument geworden ist, soll in seiner Entwicklung skizziert werden. *Wulf*[1]) konstruierte ihn etwa 1908, indem er sein Zwei-Fadenelektrometer als isolierte Elektrode in einen Zinkzylinder einbaute. Dies Elektrometer bestand in seiner ersten Form aus den beiden leitenden Fäden, die an ihrem unteren Ende befestigt waren und durch ein kleines Gewicht gespannt wurden, das als Gegengewicht gegen die elektrischen Abstoßungskräfte diente. Der flache Zylinder von etwas über 2 Liter Inhalt war mit seiner Achse horizontal gelagert und das Elektrometer hing von der Mitte der Seitenwand frei in das Gefäß hinein. An derselben Wand, um 90° versetzt, waren das Ablesemikroskop und das Beleuchtungsfenster angebracht. Die Zylinderwandungen bestanden aus 2 mm starkem Messing, die Deckel aus dünnstem Zinkblech, um das Instrument auch zu β-Strahlmessungen verwenden zu können, während für γ-Strahlen dickere Metallplatten über die Deckel geschoben werden konnten. Am Instrument befanden sich ferner eine im eingeschliffenen Konus drehbare, also mechanische Ladesonde, sowie ein oder zwei Glasgefäße zur Aufnahme von metallischem Natrium, um den Gasinhalt dauernd zu trocknen. Zur Scharfeinstellung der Elektrometerfäden dienten Fußschrauben. Da bei Transport der Instrumente die freihängenden Fäden leicht an die Deckel anklebten, so traf Wulf zunächst die Einrichtung, sie über eine lose Quarzschlinge zu spannen, doch luden sich die Fäden infolge Reibung auf. Dann

[1]) Th. Wulf, *Physikal. Zeitschr.* ***10.*** *S. 152. 1909.*

Digitized by Google

befestigte er die Fäden mit leichtem Durchhang an einem Spinnfaden nach Elster und Geitels Vorbild und schließlich kam das bekannte Wulfelektrometer zustande, bei welchem die Fäden durch die elastische Quarzschlinge gespannt wurden. Da aber von nun an die Elektrometerfäden an zwei räumlich getrennten Punkten befestigt waren, nämlich oben am Bernsteinisolator, unten an der Quarzschlinge, so war damit die Möglichkeit von Temperatureinflüssen auf die Elektrometerablesungen gegeben. Doch blieb diese Fehlerquelle zunächst wenig beachtet, da ja bei den üblichen Arbeiten kaum größere Temperaturunterschiede auftraten, die zudem durch entsprechende Vorsichtsmaßregeln zu vermeiden waren. Die weitere Entwicklung brachte eine zweite Fehlerquelle mit sich, bei der es sich ähnlich wie vorher verhielt. Zur Bestimmung der Reststrahlung war es am einfachsten, die Instrumente im Wasser zu versenken, um durch seine Schirmwirkung die von außen eindringenden Strahlen zu absorbieren. Dazu mußten die Apparate, die bisher nicht vollkommen dicht abgeschlossen waren, verlötet, die Mikroskoplinsen gasdicht eingesetzt und alle herausragenden Teile mit Rohrstutzen versehen werden, die mit Flansch und Lederring dicht aufzuschrauben waren. Zur Feineinstellung der Fäden im Mikroskop wurde in diesem, da der Objektabstand nunmehr festlag, eine verschiebbare Negativlinse zwischen Objektiv und Okular eingebaut.

Jetzt aber führten wechselnde Außendrucke oder Temperaturschwankungen des Gasinhalts zu Verzerrungen der Gefäßwände, die die Elektrometerablesungen stark beeinflußten. Auch hier traten solche Einwirkungen unter normalen Verhältnissen nicht so auffällig hervor, daß sie sich sogleich als Störungen kenntlich gemacht hätten, aber es ist klar, daß die Instrumente in dieser Form für Ballonfahrten, insbesondere für Hochfahrten oder bei Beobachtungen unter schwierigen Verhältnissen wie im Hochgebirge, also unter Überdruck nicht als einwandfrei gelten konnten. Trotzdem wurden die Konstruktionen von Gockel[1]) und insbesondere von Hess[2]) zu ihren Ballonfahrten benutzt. Allerdings wandte man (z. B. Gockel für Ballonfahrten) zum Druckausgleich einen dehnbaren Gummiballon an, der den inneren Überdruck aufnehmen konnte, oder man öffnete die Instrumente bei Messungen im Gebirge (Hess und Kofler[3])), damit sie nicht unter Überdruck standen, jedoch mußten die Ergebnisse nunmehr auf normalen Druck reduziert werden, wodurch die Empfindlichlichkeit der Apparate wegen des geringeren Gasinhaltes herabgesetzt wurde. Aber damit waren nur die gröbsten Fehlerquellen vermieden, die fast ganz unkontrollierbaren Temperatureinflüsse waren nicht ausgeschaltet. Aus diesen Erwägungen heraus erschienen mir damals die Ballonergebnisse der beiden genannten Autoren nicht einwandfrei, so daß ich diese Untersuchungen aufnahm, als mir Gelegenheit zu Ballonfahrten geboten wurde. Als ich dann meine Neukonstruktion[4]) bereits auf Ballonfahrten erprobt hatte und das Verhalten gegenüber Druck und Temperatureinflüssen eingehender prüfte, veröffentlichten gleichzeitig Bergwitz[5]) und Dorno[6]) Arbeiten über derartige Einwirkungen bei den Wulf-Elektrometern, die meine Annahmen bestätigten, aber die bisherigen Ergebnisse mit den Wulf-Elektrometer doch etwas zu sehr in Mißkredit brachten. Denn schon die recht gute Übereinstimmung zwischen den Ballonmessungen von Hess und mir ließ er-

---

[1]) A. Gockel, *Physikal. Zeitschr.* ***11***. *S. 280. 1910;* ***12***. *S. 595. 1911.*

[2]) V. F. Hess, *Physikal. Zeitschr.* ***13***. *S. 1084. 1912.*

[3]) V. F. Hess und M. Kofler, *Physikal. Zeitschr.* ***18***. *S. 585. 1917.*

[4]) W. Kolhörster, *Physikal. Zeitschr.* ***14***. *S. 1066. 1913.*

[5]) K. Bergwitz, *Physikal. Zeitschr.* ***14***. *S. 953. 1913.*

[6]) C. Dorno, *Physikal. Zeitschr.* ***14***. *S. 956. 1913.*

Digitized by Google

kennen, daß die möglichen Fehler doch nicht in dem Maße aufgetreten waren, wie man eigentlich hätte annehmen dürfen. Auf jeden Fall mußte das nun einmal geweckte Mißtrauen, insbesondere gegen die mit Wulf-Instrumenten ausgeführten Beobachtungen der Höhenstrahlung, durch sorgfältiges Studium der Fehlerquellen und neue Messungen zerstreut werden. Dies hätte sich am schnellsten erreichen lassen, wenn ein dem Wulfschen Elektrometer gleichartiges für die Strahlungsapparate sofort zur Verfügung gewesen wäre. Da es an einem solchen fehlte, entwarf ich damals bereits ein neues Elektrometer, das ich aber nicht ausführte, weil dadurch der Bau eines dringend benötigten zweiten Strahlungsapparates zu sehr verzögert worden wäre. So mußte auch zur zweiten Konstruktion[1]) noch das Wulf-Elektrometer verwendet werden.

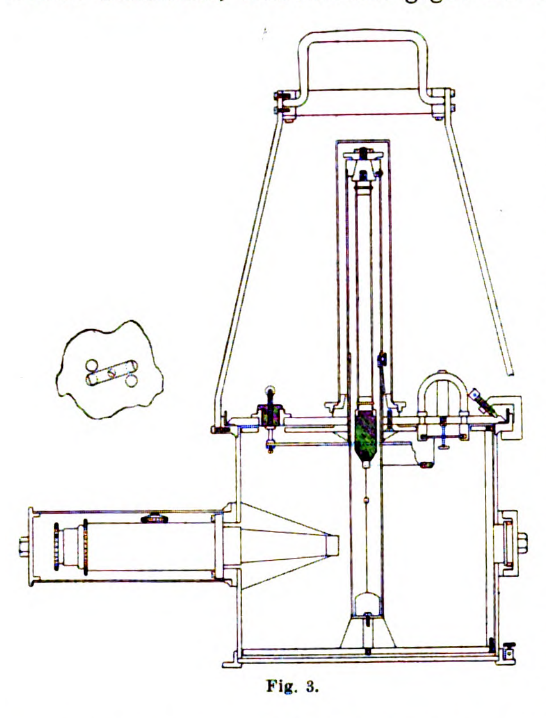


Fig. 3.

Wie die Figuren zeigen, ist in der vertikal gelagerten Achse des Ionisationszylinders von rund 4 Liter Volumen das Elektrometer an einem Rahmen angebracht, der nur an einer Stelle, in der Mitte des oberen Zylinders, direkt befestigt wird (vgl. Fig. 3, 4 und 5). Treten durch wechselnde Innendrucke Verschiebungen des Elektrometers ein, so bewirken sie zwar eine geringe Hebung oder Senkung der anvisierten Stellen der Fäden, da aber diese hier fast genau parallel laufen, keine Änderung der Elektrometerablesungen. Tatsächlich

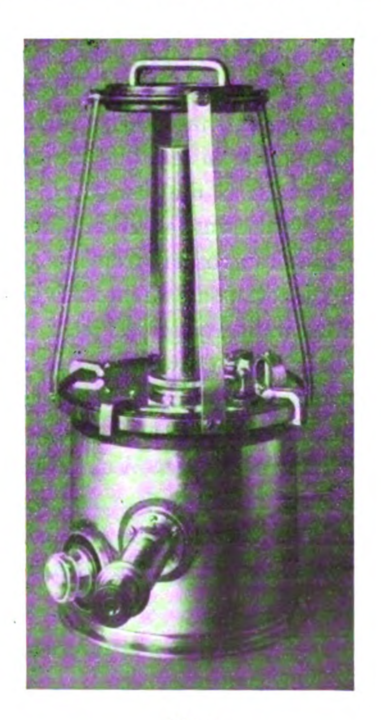


Fig. 4.

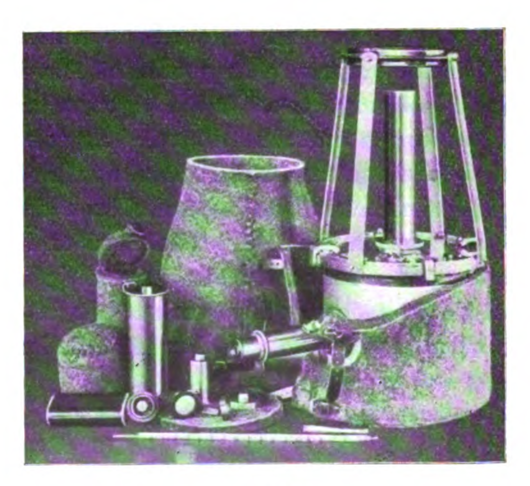


Fig. 5.

[1]) W. Kolhörster. *Zeitschr. f. Physik.* **5.** *S 107. 1921.*

ergaben diesbezügliche Prüfungen keine Unterschiede, wenn der Innen- gegenüber dem Außendruck zwischen — 200 und + 300 mm Hg 0° wechselte. Bei dem zweiten Apparat (Fig. 6 und 7) wurde der Rahmen für das Elektrometer an der Einführungsstelle des Mikroskoptubus wie dieser an einer festen Platte verschraubt, die einen Streifen der zylindrischen Längswand des Ionisationsgefäßes bildet. Damit waren auch die

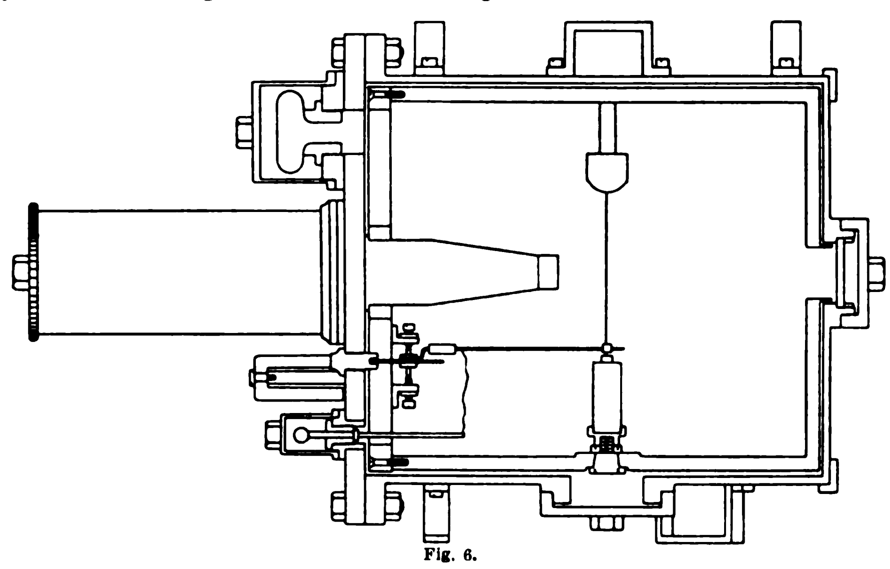


Fig. 6.

vorher erwähnten unwesentlichen Verschiebungen vermieden. Schwieriger war die Frage der Temperaturkompensation, ist sie doch bei Elektrometern immer eine heikle Angelegenheit, da das System, das zu kompensieren es gilt, aus sehr guten und sehr schlechten Wärmeleitern besteht. Man ist daher gezwungen, sowohl auf Temperaturstand — wie wir den Zustand nennen wollen, wenn alle Teile des Systems gleiche Temperatur besitzen — wie auf Temperaturgang zu kompensieren. Ersteres bietet nur Schwierigkeiten, wenn Teile des Systems wie Bernstein neben dem großen, auch einen mit der Temperatur stark veränderlichen Ausdehnungskoeffizienten besitzen, wodurch der wirksame Bereich der Kompensation eingeengt wird. Um daher größeren Temperaturschwankungen gewachsen zu sein, habe ich statt des Bernsteins Quarzisolation für die zweite Konstruktion benutzt, wozu später auch Lutz bei seinem Elektrometer übergegangen ist. Der außerordentlich kleine Ausdehnungskoeffizient geschmolzenen Quarzglases hat im Verein mit Nickelstahl den großen Vorteil, daß in einem solchen System überhaupt nur wenig zu kompensieren ist, wodurch sogleich eine befriedigende Gangkompensation von selbst erzielt wird. Gewiß kann man auch in anderer Weise manches erreichen, wenn man z. B. das Kompen-

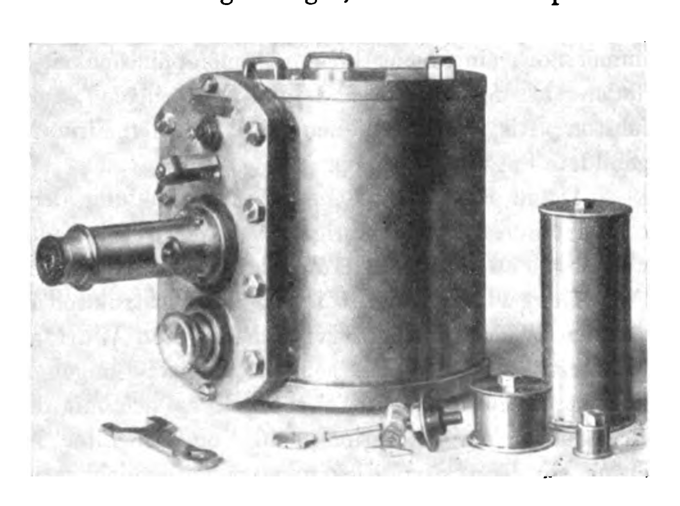


Fig. 7.

Digitized by Google

sationselement entsprechend dem mutmaßlichen Temperaturzustrom anbringt, oder wenn man durch gute Wärmeisolation — Verpacken der Instrumente in Watte und dergl., was schon Wulf vorschlug — die Temperaturänderung möglichst verlangsamt, aber schließlich sind das alles nur Notbehelfe, denen gegenüber ein Elektrometer, das ohne eine solche Vorrichtung arbeitet, immer überlegen sein wird. Deshalb wurde das bereits erwähnte Elektrometer inzwischen ausgeführt, erprobt und für meine neuen nach dem Kriege angefertigten Strahlungsapparate verwendet. Als Gegenkraft gegen die elektrischen Abstoßungskräfte dient hier die Biegungselastizät der dünnen, leitend gemachten Quarzfäden, die an einem schmalen Metallblech beiderseits in Form kongruenter Schlingen befestigt sind, wie die beifolgende Skizze (Fig. 8) in *b* von der Seite und in *c* von oben zeigt. Wird das Elektrometer aufgeladen, so spreizen sich die Schlingen und ihr Abstand wird durch das Mikroskop *M* mit Okularskala bei *a* abgelesen, wobei die Schlingen wie die Fäden des Wulf-Elektrometers im Gesichtsfelde erscheinen. Das Elektrometer wird auf einen stärkeren Aluminiumdraht aufgeschoben, der als isolierte Innenelektrode dient und von einem Quarzrohr getragen, das an der Objektivfassung aufgekittet ist. Bei rund 40 mm Länge des Isolators tritt für 100° Temperaturdifferenz eine Verlängerung von $^{2}/_{1000}$ mm ein, die ganz zu vernachlässigen ist. Entsprechend der Bauart des Elektrometers wird das Mikroskop mit seinen Objektivteilen in der Mitte der Innenwand des Zylinderdeckels angebracht. Bei dem nahezu quadratischen Querschnitt des Zylinders kann die Innenelektrode kurz gehalten werden (30—40 mm), so daß die Kapazität des gesamten isolierten Systems 0,4 cm beträgt bei einem Zylinderdurchmesser von 14 cm und einer Höhe von 16 cm. Das Elektrometer allein besitzt eine Kapazität von 0,1—0,2 cm, seine Voltempfindlichkeit kann daher relativ gering sein (1 Skt. = 1—2 Volt), wobei es immer noch eine recht hohe Stromempfindlichkeit aufweist. Am Zylinderdeckel befinden sich ferner Ladesonde und Trockengefäß, am anderen Deckel das Beleuchtungsfenster. Als Mikroskop dient das von der Firma Günther und Tegetmeyer ausgebildete Spezialmikroskop.

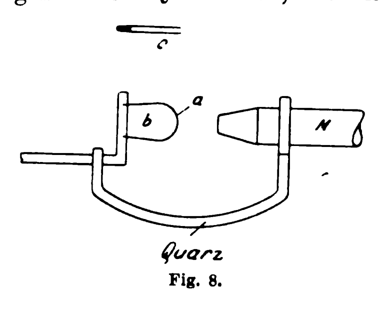


Fig. 8.

Damit ist auch die neueste Entwicklung der Strahlungsapparate skizziert und es bleibt nun nur noch übrig, mit einigen Worten auf Registrierinstrumente einzugehen, wie sie von Bergwitz, Gockel und mir angegeben worden sind.

Bergwitz[1]) benutzt meine Neukonstruktion I des Wulfschen[2]) Strahlungsapparates mit einer Registriervorrichtung von Wulf[3]), die schnelles und langsames Registrieren gestattet. Für schnelle Registrierungen reicht im allgemeinen die Empfindlichkeit nicht aus. Ähnlich verhält es sich mit dem großen Instrument Gockels[4]). Er benutzt ein Ionisationsgefäß von 225 Liter Inhalt, dessen Elektrizitätsverluste durch ein Benndorf-Elektrometer aufgezeichnet werden. Da aber die mechanische Registrierung wieder die Empfindlichkeit herabsetzt, so geht der Vorteil, den diese großen Apparate gegenüber transportablen bieten können, zum Teil wieder verloren. Aus diesem Grunde hatte ich seinerzeit (1914), als es vorerst nicht möglich war, die

[1]) K. Bergwitz, Elster und Geitel-Festschrift. *S. 585. Braunschweig 1915.*

[2]) W. Kolhörster, *Physikal Zeitschr.* ***14.*** *S. 1066. 1913.*

[3]) Th. Wulf, *L'électromètre bifilaire . . ., Louvain 1910.*

[4]) A. Gockel, *Physikal. Zeitschr.* ***16.*** *S. 345. 1915.*

Digitized by Google

kleinen Instrumente empfindlicher herzustellen, einen größeren Registrierapparat konstruiert, der zu schnellen Aufzeichnungen von Schwankungen der durchdringenden Strahlung dienen sollte. Er wurde vom Hamburgischen Physikalischen Staatslaboratorium speziell zur Beobachtung bei der Sonnenfinsternis von 1914 gebaut, jedoch sind Angaben über das Instrument bisher nicht veröffentlicht worden. Er besteht aus einer großen isoliert aufgestellten Ionisationskammer aus Zink von 3 mm Wandstärke und einem Wulf-Einfadenelektrometer mit Registriervorrichtung. Da hier mit der Auflademethode gearbeitet wird, läßt diese Anordnung die höchste Empfindlichkeit erreichen, die zur Zeit möglich ist. Mit diesem Instrument sind längere Registrierungen zur Zufriedenheit ausgeführt worden, wie ich aus freundlichen brieflichen Mitteilungen von Herrn Jensen erfuhr, eine Veröffentlichung der gewonnenen Ergebnisse ist aber leider bis heute noch nicht erfolgt.

Ferner sind von Millikan und seinen Schülern neue Instrumente gebaut worden. Sie sollen nach den überaus kurzen Veröffentlichuugen, teils ganz ähnlich meiner Konstruktion I sein, teils sind sie als Registrierinstrumente für Pilotballone, also als ganz kleine Apparate ausgebildet worden, die wohl unter hohem Überdruck (?) arbeiten, um das große Ionisationsvolumen zu ersetzen. Einzelheiten wurden bisher nicht veröffentlicht.

Was schließlich die weitere Entwicklung der Instrumente betrifft, so ist wegen der Erforschung der Höhenstrahlung, die im Vordergrund des Interesses steht, zunächst anzunehmen, daß man versuchen wird, die kleineren transportfähigen Apparate immer empfindlicher zu gestalten und daß man dies durch besseren Umsatz der primären Strahlung zu erreichen suchen wird, d. h., daß man dichtere Füllgase, vor allem aber schwerere Metalle für die Ionisationszylinder benutzt. Fernerhin wird man wohl der Zählmethode größeres Interesse als bisher entgegenbringen.

Die Temperaturskala in Theorie und Praxis.

Von

F. Henning.

1. Allgemeines über die Temperaturskala.

Als die Grundeinheiten der messenden Physik gelten im allgemeinen nur die drei: Zentimeter, Gramm und Sekunde. In dem sogenannten CGS-System werden fast alle physikalischen Größen auf jene drei zurückgeführt. Nur bei einer Anzahl thermischer Größen gelingt dies nicht, nämlich bei allen denen, die die Temperatur bzw. deren Grundeinheit, den Grad, enthalten. Der Grad muß darum als die vierte Fundamentaleinheit bezeichnet werden, die gleichberechtigt neben die Längen-, die Massen- und die Zeiteinheit tritt. Die spezifische Wärme eines Körpers oder die Gaskonstante sind z. B. nicht durch Zahlenwerte ausdrückbar, wenn der Grad nicht definiert ist.

Der Grad hat mit den drei andern Grundeinheiten gemeinsam, daß seine Größe auf vollkommen willkürlichen Festsetzungen beruht. Er unterscheidet sich von der Längen- und Masseneinheit dadurch, daß es nicht möglich ist, von ihm ein Prototyp herzustellen, mit dessen Größe alle Gradangaben zu vergleichen sind. Es gibt im Gegensatz auch zur Zeitmessung nicht einmal eine einheitliche Methode, nach der die Temperaturgrade unter allen Umständen gemessen werden können. Auf einem eng


Digitized by Google

umgrenzten Gebiet hat das *bureau international des poids et mesures* diesen Mangel dadurch zu beheben versucht, daß es vier Quecksilberthermometer niederlegte, um auf deren Angaben alle Temperaturmessungen zwischen 0 und 100° zu beziehen, nachdem diese Quecksilberthermometer durch Chappuis (1887) an ein Wasserstoffthermometer konstanten Volumens, dessen Druck bei 0° ein Meter Quecksilber betrug, angeschlossen waren.

Die Skala des Wasserstoffthermometers, die ursprünglich nur für den internen Gebrauch des *bureau international* angenommen war, hat lange Zeit allgemein als die Normalskala für alle Temperaturmessungen gegolten. Als man aber dazu überging, sehr tiefe und sehr hohe Temperaturen zu messen, versagte die Wasserstoffskala. Mit der Verflüssigung des Wasserstoffes war man in ein Temperaturgebiet herabgestiegen, in dem sich Wasserstoff als Meßgas von selbst verbot. Andererseits zeigte sich, daß es im Glühzustande an geeigneten Gefäßen fehlt, in denen der chemisch stark aktive und leicht diffundierende Wasserstoff eingeschlossen werden kann. Mit der Entdeckung des Heliums sind wir in den Besitz eines Gases gelangt, das sich ohne Kondensation viel tiefer abkühlen läßt als Wasserstoff und das auch in hoher Glut ohne Gefahr der Diffusion in Platiniridiumgefäße eingeschlossen werden kann; aber wir würden durch Annahme eines Heliumgasthermometers als thermometrisches Normal die Grenzen für die Brauchbarkeit einer hierauf beruhenden Temperaturdefinition nur hinausschieben, ohne sie ganz aufheben zu können.

Es kann heute kein Zweifel mehr darüber bestehen, daß allein die thermodynamische Temperaturskala als Grundlage für alle Temperaturmessungen dienen muß. Sie allein ist unabhängig von den speziellen Eigenschaften einer Substanz und weder nach unten noch nach oben in irgendeiner Weise begrenzt. Allerdings handelt es sich bei der thermodynamischen Skala zunächst nur um eine theoretische Definition. Wir befinden uns ihr gegenüber in derselben Lage wie etwa gegenüber der Definition der elektrischen Stromstärke durch das Biot-Savartsche Gesetz. Es ist von der Definition bis zur Verwirklichung ein nicht unbeträchtlicher Schritt, und wenn die Verwirklichung einmal stattgefunden hat, so tut man gut, ein Hauptnormal zu schaffen, mit dem die Meßinstrumente des täglichen Gebrauchs leicht verglichen werden können. Als ein solches Hauptnormal für die Stromstärke dient das Silbervoltameter, an das jedes Gebrauchsamperemeter leicht angeschlossen werden kann.

Bei der Thermometrie kann man praktisch nicht anders verfahren; nur sind bisher die hierfür nötigen Vorschriften noch nicht auf eine breite internationale Grundlage gestellt, wie es bei den elektrischen Einheiten der Fall ist. Indessen ist zu hoffen, daß zahlreiche dahingehende Bestrebungen bald zu einem guten Ende führen werde. Die *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* hatte Vertreter ihrer Schwesterinstitute in Amerika (*Bureau of Standards*) und England (*National Physical Laboratory*) bereits für den Herbst 1914 eingeladen, um die internationale Aussprache auf dem Gebiet der Thermometrie herbeizuführen. Durch den Kriegsausbruch wurde diese Konferenz verhindert und die Behandlung der Fragen mußte zunächst auf unbestimmte Zeit vertagt werden. Die Einladung war von der *Physikalisch-Technischen Reichsanstalt* ausgegangen, weil in diesem Institut die bei weitem meisten Arbeiten für die Festlegung der Temperaturskala geleistet waren. Aber der Gedanke der internationalen Vereinigung auf diesem Gebiete wurde und wird noch heute besonders lebhaft auch von dem damaligen Leiter des *Bureau of Standards*, Dr. Stratton, vertreten, der bereits in der Sitzung des *Comité international des poids et mesures* vom 10. Oktober 1913 eine Denkschrift einbrachte, in der die alte Wasserstoffskala als überholt


Digitized by Google

und allein die thermodynamische Skala als die wissenschaftliche Grundlage der Thermometrie bezeichnet wird. Gleichzeitig trat er damals dafür ein, die Leiter der großen Staatslaboratorien zu einer Konferenz zusammenzurufen, um die internationale Zusammenarbeit bei der Verwirklichung der thermodynamischen Skala zu gewährleisten. Auch nach dem Kriege hat Dr. Stratton an dem Gedanken einer solchen Konferenz festgehalten und sie später von neuem z. B. bei der Sitzung des *Comité international des poids et mesures* vom 5. Oktober 1921 in Vorschlag gebracht.

2. Die theoretische Begründung der Temperaturskala.

Der Begriff „Temperatur" hat ebenso wie der Begriff „Kraft" einen rein physiologischen Ursprung. Zwei gleichartigen Körpern, die sich verschieden heiß oder kalt anfühlen, schreiben wir verschiedene Temperaturen zu. Die messende Physik zeigte, daß die Temperatur zur genauen Bestimmung des Zustandes eines Körpers unentbehrlich ist und daß umgekehrt aus der Zustandsänderung eines Körpers auf seine Temperaturänderung geschlossen werden kann, wenn alle andern Größen, die den Zustand ebenfalls wesentlich mitbestimmen, konstant bleiben. Solange es sich um diejenigen Gebiete der Wärmelehre handelt, welche durch den ersten Hauptsatz beherrscht werden, reicht im Prinzip die Messung beliebiger Zustandsänderungen aus, um die nötigen Temperaturgrößen zu gewinnen. Es kommen nämlich hier nur Temperaturdifferenzen in Frage; nicht aber die Temperaturen selbst. Diese spielen erst im Bereich des zweiten Hauptsatzes eine Rolle, dessen Fassung darum gleichzeitig die Definition der Temperatur enthalten muß. Der zweite Hauptsatz läßt sich folgendermaßen aussprechen: Jedem System kann eine Funktion S (Entropie) zugeordnet werden, die lediglich von dem Zustand des Systems abhängt und bei allen Änderungen des Systems wachsen muß; im Grenzfall darf sie konstant bleiben. Die Änderung dieser Funktion, welche Entropie heißt, wird für alle Systeme, ganz unabhängig von ihrer speziellen Beschaffenheit, durch die Beziehung

$$\Delta S = \iint \frac{du + p\,dv}{T} \cdot dm$$

ausgedrückt. Das Doppelintegral ist über alle Massenelemente dm des Systems und über die gesamte Zustandsänderung zu erstrecken; die auf die Masseneinheit bezogenen Werte der Energie u und des Volumens v können ebenso von Element zu Element wechseln wie der Druck p und die Temperatur T. Der zweite Hauptsatz verknüpft also die Temperatur T außerordentlich allgemein mit den Größen, die den Zustand des Systems bestimmen. Völlig willkürlich ist in dessen die Art und Weise, mit der die Temperatur in den Entropieausdruck eingeführt wird. Es würde im Prinzip nichts geändert, wenn die Temperatur T durch irgendeine Funktion der Temperatur ersetzt würde. Indessen besitzt der einmal gewählte Ausdruck den Vorzug der Einfachheit.

Jede Anwendung des zweiten Hauptsatzes auf irgendeinen speziellen Vorgang führt zu einem Weg für die Bestimmung der rein thermodynamisch begründeten Temperatur.

Eine bekannte Anwendung ist z. B. diejenige auf den Carnotschen Kreisprozeß, der (dem Grundprinzip der Dampfmaschine entsprechend) darin besteht, daß ein beliebiger Körper abwechselnd mit zwei Wärmebehältern verschiedener Temperatur T_1 und T_2 ($T_1 > T_2$) in Berührung gebracht wird, wobei er von dem wärmeren Behälter die Wärmemenge Q_1 aufnimmt und an den kälteren die Wärme-


Digitized by Google

menge Q_2 abgibt. Verläuft der Prozeß im übrigen abwechselnd isotherm und adiabatisch, ferner vollkommen umkehrbar, so gilt nach dem zweiten Hauptsatz $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$. Das Verhältnis der ausgetauschten Wärmemengen liefert also sofort das Verhältnis der thermodynamischen Temperaturen. Wählt man als die eine der beiden Temperaturen stets diejenige des normal (unter dem Druck 1 Atm.) schmelzenden Eises und bezeichnet man diese mit T_0, so kann man nach dem Carnotschen Prozeß jede beliebige andere Temperatur T darstellen als $T = T_0 \frac{Q}{Q_0}$, wenn Q und Q_0 die entsprechenden Wärmemengen bedeuten. T_0 selbst kann nur durch eine willkürliche Annahme zahlenmäßig ausgedrückt werden. Es spräche z. B. nichts dagegen, $T_0 = 1$ zu setzen. Indessen ist es üblich, T_0 so zu wählen, daß nach dem Vorgange von Celsius das Intervall zwischen der Temperatur des normal schmelzenden Eises und des unter normalem Druck entwickelten gesättigten Wasserdampfes 100 Grade beträgt. Läßt man den Carnotschen Prozeß zwischen diesen beiden Temperaturen T_0 und T_1, wobei $T_1 = T_0 + 100$ ist, ablaufen, so erhält man bei entsprechender Bezeichnung der Wärmemengen mit q_0 und q_1

$$T_0 + 100 = T_0 \frac{q_1}{q_0} \quad \text{oder} \quad T_0 = 100 \frac{q_0}{q_1 - q_0}.$$

Nach dieser Festsetzung ist dann jede beliebige Temperatur in der thermodynamischen Skala durch eine Zahl ausdrückbar.

Der Carnotsche Prozeß ist wohl geeignet, das Prinzipielle der Temperaturbestimmung zu erläutern; für die praktische Durchführung unserer Aufgabe kommt er indessen nicht in Betracht, da andere Folgerungen des zweiten Hauptsatzes hierfür viel geeigneter sind. Eine günstigere Handhabe bietet z. B. die Clausius-Clapeyronsche Gleichung, durch die die Verdampfungswärme L mit der Siedetemperatur T, dem Sättigungsdruck p, dem spezifischen Volumen v des gesättigten Dampfes und dem spezifischen Volumen v' der siedenden Flüssigkeit verbunden wird. Sie lautet

$$L = T \frac{dp}{dT} (v - v')$$

oder nach Integration

$$\ln \frac{T}{T_0} = \int_{p_0}^{p} \frac{v - v'}{L} \, dp.$$

Hier ist also das Verhältnis zweier thermodynamischer Temperaturen durch physikalisch gut meßbare Größen ausdrückbar.

Für die Thermometrie am wichtigsten ist die Anwendung des zweiten Hauptsatzes auf den Joule-Thomson-Effekt der Gase. Bezeichnet man die Temperaturerniedrigung, die ein Gas beim Durchströmen einer Drosselstelle pro Atmosphäre Druckabfall erleidet, mit μ', seine spezifische Wärme bei konstantem Druck mit c_p' und bestimmt man die zur Messung von μ' und c_p' erforderliche Temperatur T' nach der Skala eines Gasthermometers konstanten Druckes, das mit Versuchsgas gefüllt ist, indem man $T' = T_0' \frac{v}{v_0}$ setzt, so gilt

$$\ln \frac{T}{T_0} = v_0 \int_{T_0'}^{T'} \frac{dT'}{T_0' \cdot c_p' \mu' + T' v_0}.$$

Digitized by Google

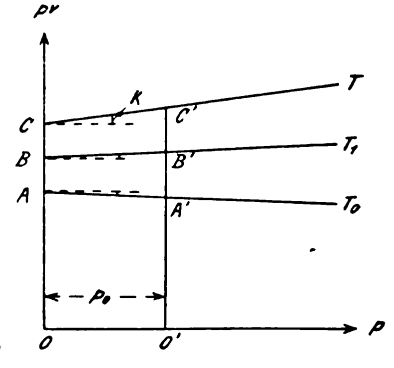
Diese Gleichung liefert also eine Beziehung zwischen der gasthermometrischen Temperatur T' und der thermodynamischen Temperatur T. Mit ihr sind also die Korrektionen zu ermitteln, die man an den Angaben eines Gasthermometers konstanten Druckes anbringen muß, um auf die thermodynamische Skala zu gelangen. Für das viel häufiger verwendete und im Gebiet tiefer Temperaturen allein brauchbare Gasthermometer konstanten Volumens gibt es eine ähnliche Beziehung, doch enthält sie leider eine Größe, welche bisher nicht genügend genau gemessen werden kann. Es ist dies die Temperaturabnahme, welche ein Gas erleidet, wenn es sich von einem Volumen v_1 auf ein größeres Volumen v_2 ausdehnt, ohne dabei Arbeit zu leisten.

Theoretische Erwägungen führen dazu, daß ein ideales Gas unter allen Umständen den Joule-Thomson-Effekt $\mu' = 0$ liefert und daß bei ihm auch keine Temperaturveränderung bei arbeitsloser Ausdehnung auftreten kann. Die Integration der letzten Gleichung liefert $T' = T$ für $\mu = 0$, und es läßt sich beweisen, daß die Skala eines Gasthermometers konstanten Volumens ebensowenig wie die Skala eines Gasthermometers konstanten Druckes einen Unterschied gegen die thermodynamische Skala zeigt, wenn die Füllung mit einem idealen Gas vorgenommen wird. Die Skala des idealen Gases und die thermodynamische Skala stimmen vollständig miteinander überein. Es kommt dies auch in der Zustandsgleichung des idealen Gases $pv = RT$ zum Ausdruck, aus der

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{p}{p_0}\right)_v = \left(\frac{v}{v_0}\right)_p$$

folgt.

Vom molekulartheoretischen Standpunkt aus definiert man ein ideales Gas als ein solches, dessen Moleküle keine räumliche Ausdehnung und keine gegenseitig wirkenden Anziehungskräfte besitzen. Diesem Ideal nähert man sich, wenn man ein wirkliches Gas von sehr geringer Dichte betrachtet. Je größer das Volumen einer gegebenen Gasmasse ist, um so mehr verschwinden im Vergleich zu ihm die Volumina der einzelnen Moleküle, und mit zunehmendem Abstand der Moleküle voneinander kommen auch die gegenseitigen Anziehungskräfte immer weniger zur Geltung. Ein unendlich verdünntes reales Gas stimmt bezüglich seiner Temperaturskala völlig mit einem idealen Gas überein.



Die bisher am häufigsten eingeschlagene Methode zur Gewinnung der thermodynamischen Temperatur führt nur indirekt über den Joule-Thomson-Effekt. Sie besteht darin, daß man die Angaben eines Gasthermometers von konstanter endlicher Gasdichte auf ein solches mit der Gasdichte Null, d. h. auf den Fall eines idealen Gases (mit Joule-Thomson-Effekt 0) umrechnet. Diese Umrechnung wird durch die Beobachtung der pv-Isothermen des betreffenden Gases ermöglicht.

Den Verlauf der Gasisothermen zeigt die beistehende Figur. Beobachtet man bei konstanter Temperatur T das Volumen v der Masse 1 bei wechselndem Druck p, so ist das Produkt pv in Abhängigkeit von p mit sehr großer Näherung als gerade Linie darstellbar, wenn die Drucke p einige Atmosphären nicht übersteigen und p sowohl wie T so gewählt werden, daß das Gas der Kondensationsgrenze nicht allzu nahe kommt. Aus der Figur ist ersichtlich, daß sich für den Fall konstanten Druckes $p = p_0$ die Volu-

Digitized by Google

mina v des Gases bei den Temperaturen T_0, T_1 und T wie die Strecken $O'A' : O'B' : O'C'$ verhalten. Beim Druck $p = 0$ würden sich bei denselben Temperaturen die Volumina wie die Strecken $OA : OB : OC$ verhalten. Stellen T_0 und T_1 die Temperaturen der beiden Fundamentalpunkte (erstarrendes und siedendes Wasser) dar, so daß $T_1 - T_0 = 100$ zu setzen ist, so findet man nach den einfachen Gasgesetzen mit einem Gasthermometer vom konstanten Druck p_0 die dem Volumen $O'C'$ zugehörige Temperatur zu

$$T_p = T_0 + 100 \cdot \frac{C'A'}{B'A'}.$$

Dagegen ergibt sich mit einem entsprechenden Gasthermometer vom konstanten Druck $p = 0$ die gleiche Temperatur zu

$$T = T_0 + 100 \cdot \frac{CA}{BA}.$$

Da sich der Temperaturwert T auf ein Thermometer mit einer Füllung bezieht, die von einer idealen nicht unterscheidbar ist, so ist T zugleich die Temperatur in der thermodynamischen Skala. Der Temperaturwert T ist verschieden von dem Temperaturwert T_p, den ein Gasthermometer vom konstanten Gasdruck $p = p_0$ liefert. Der Unterschied zwischen T_p und der thermodynamischen Temperatur T ist durch den Druck $p = p_0$ und die Neigung $\varkappa = \left(\frac{dpv}{dp}\right)$ der drei Isothermen T_0, T_1 und T ausdrückbar, und zwar findet man für das Gasthermometer konstanten Druckes unter Vernachlässigung kleiner Glieder höherer Ordnung

$$T_p - T = \frac{T_0}{100} p_0 \left[(T - T_1) \left(\frac{dpv}{dp}\right)_{T_0} - (T - T_0) \left(\frac{dpv}{dp}\right)_{T_1} + 100 \left(\frac{dpv}{dp}\right)_T \right].$$

Die hier durchgeführten Überlegungen lassen sich mit geringer Abänderung auch auf das weit häufiger verwendete Gasthermometer konstanten Volumens übertragen. Bezeichnet man die Temperaturangaben dieses Instrumentes mit T_v und seinen Gasdruck beim Eispunkt mit p_0, so ergibt die Rechnung ebenfalls unter Vernachlässigung kleiner Glieder höherer Ordnung

$$T_v - T = p_0 \left[\frac{T_0}{100} (T - T_1) \left(\frac{dpv}{dp}\right)_{T_0} - \frac{T_1}{100} (T - T_0) \left(\frac{dpv}{dp}\right)_{T_1} + T \left(\frac{dpv}{dp}\right)_T \right].$$

Die Geradlinigkeit der Isothermen, welche den angegebenen Gleichungen zugrunde liegen, ist kaum für Drucke unter 0,5 Atmosphären geprüft worden. Man kann also über den Verlauf der Isothermen bei sehr kleinen Drucken nur Vermutungen haben, und die Annahme der Geradlinigkeit bis zum Druck $p = 0$ bedeutet eine Extrapolation, die allerdings viel Wahrscheinlichkeit für sich hat. Kamerlingh-Onnes unterscheidet trotzdem zwischen der thermodynamischen Temperatur und der durch Extrapolation auf den Druck $p = 0$ gewonnenen gasthermometrischen Temperatur, indem er letztere als Temperatur in der Avogadro-Skala des betreffenden Gases bezeichnet. Allerdings sind quantitative Unterschiede zwischen beiden bisher nicht feststellbar gewesen und er nennt die Avogadro-Skala des Heliums die „vorläufige internationale Kelvin-Skala“. Mit der Kelvin-Skala ist dieselbe Skala gemeint, die wir hier als thermodynamische bezeichnet haben. Das Wort „international“ greift den Ereignissen ein wenig vor, da diese Skala, die in der Tat allen wissenschaftlichen Messungen zugrunde gelegt werden sollte, noch nicht international angenommen ist. Kamerlingh-Onnes hat für die Grade der thermodynamischen Skala die sehr zweckmäßige Bezeichnung „°K, Grad Kelvin“ eingeführt.

Digitized by Google

Wir benötigen in der Thermometrie noch eine weitere einfache Benennung für die Gradzahlen derjenigen thermodynamisch begründeten Skala, in der der Erstarrungs- bzw. der Siedepunkt des Wassers mit 0 bzw. 100^0 bezeichnet werden. Es empfiehlt sich, die Grade dieser Skala einfach als „^{0} C, Grad Celsius“ und durch den Buchstaben t zu bezeichnen. Es ist dann stets $T = t + T_0$. Bei den Temperaturangaben der Gasthermometer erhält der Erstarrungs- bzw. Siedepunkt des Wassers ebenfalls stets die Zahlenwerte 0 bzw. 100, während sich alle anderen Gradzahlen von denjenigen der thermodynamischen Celsiusskala unterscheiden. Wir wollen die Temperaturen einer Gasskala, z. B. einer Heliumskala konstanten Volumens mit dem Eispunktsdruck (auch Anfangsdruck genannt) $p = p_0 = 1000$ mm durch

$$^0\mathrm{C}[\mathrm{He}, p_0 = 1000] \quad \text{und} \quad t[\mathrm{He}, p_0 = 1000]$$

bezeichnen. Für ein Gasthermometer konstanten Druckes tritt an Stelle von p_0 der Buchstabe p ohne Index. Es ist unzweckmäßig, in der Gasthermometrie die Temperaturzählung mit 0 beim absoluten Nullpunkt zu beginnen, denn der Druck in jedem Gasthermometer konstanten Volumens nimmt bereits oberhalb des absoluten Nullpunktes den Wert Null an und jedem Gasthermometer, gleichgültig ob von konstantem Volumen oder von konstanter Dichte, ist ein besonderer Nullpunkt zuzuordnen. Entsprechend den Formeln für die Gasthermometrie

$$p = p_0[1 + \beta \cdot t(\mathrm{He}, p_0 = 1000)] \quad \text{und} \quad v = v_0[1 + \alpha \cdot t(\mathrm{He}, p = 1000)]$$

müßte man den absoluten Nullpunkt der Skala bei

$$t(\mathrm{He}, p_0 = 1000) = -\frac{1}{\beta} \quad \text{bzw.} \quad t(\mathrm{He}, p = 1000) = -\frac{1}{\alpha}$$

ansetzen; also, da α und β nicht nur vom Gas, sondern auch vom Gasdruck p bzw. p_0 abhängen, für jedes Gasthermometer bei anderen Werten. Dadurch würde die Verwirrung in den ohnehin schon so verschiedenartigen Gasskalen erheblich vergrößert.

Man darf daher dem absoluten Nullpunkt nur in der thermodynamischen oder Kelvin-Skala, nicht aber in irgendeiner Gasskala, den Temperaturwert 0 zuordnen. Ja es empfiehlt sich, selbst in der thermodynamischen Skala die Celsiustemperaturen zu bevorzugen, da man die Kelvintemperaturen nur dadurch gewinnen kann, daß man die Celsiustemperaturen um die absolute Temperatur T_0 des Eispunktes vergrößert, für die noch verschiedene Werte angenommen werden. Zwar steht fest, daß man aus der Neigung $\varkappa$ der Isothermen jeden Gases ebenso wie die Unterschiede $T_p - T$ und $T_v - T$ auch eine unmittelbare Beziehung zwischen α bzw. β und der absoluten Temperatur T_0 des Eispunktes gewinnen kann; doch ist dies Verfahren wenig genau. Nach sehr eingehenden in der *Reichsanstalt* durchgeführten Beobachtungen gilt als bester Wert $T_0 = 273{,}20$. Diese Zahl ist stets da zu verwenden, wo zum Zweck theoretischer Erörterungen die Kelvin-Skala unentbehrlich ist, falls nicht die abgekürzte Zahl $T_0 = 273$ den Anforderungen an Genauigkeit genügt.

Die Neigung der Isothermen ist für eine Reihe von Gasen bei tiefer Temperatur von Kamerlingh-Onnes und seinen Mitarbeitern in Leiden, bei Temperaturen zwischen 0 und 400^0 in neuerer Zeit von Holborn und Otto (*Zeitschr. f. Phys.* **23.** *S. 77. 1924*) in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt beobachtet worden. In der folgenden Zusammenstellung sind die auf Grund der holländischen Messungen von Kamerlingh-Onnes und Cath (*Comm. Leiden, Nr. 156a. 1922*) abgeleiteten Unterschiede zwischen der thermodynamischen Skala und den Angaben einiger Gasthermometer konstanten Volumens vom Eispunktsdruck $p_0 = 1000$ mm wiedergegeben.


Digitized by Google

t	$t - t_{gas}$ Gasfüllung		
	He	H_2	N_2
0	+0,000	+0,000	+0,000
−50	+0,001	+0,007	+0,013
−100	+0,003	+0,017	+0,051
−150	+0,008	+0,035	+0,174
−200	+0,020	+0,069	+0,519
−250	+0,037	+0,135	—

Für die höheren Temperaturen kann man den Betrag der Differenzen $t - t_{gas}$ näherungsweise mit Hilfe einer Zustandsgleichung ableiten, die im Anschluß an die Clausiussche Zustandsgleichung von D. Berthelot aufgestellt wurde. Sie lautet

$$\left(p + \frac{a}{v \cdot T}\right)(v - b) = R\,T.$$

Aus ihr folgt unter Vernachlässigung kleiner Größen höherer Ordnung die Neigung der Isothermen zu

$$\varkappa = \left(\frac{d\,p\,v}{d\,p}\right)_T = b - \frac{a}{R\,T^2}.$$

Drückt man a und b durch die kritische Temperatur T_k und den kritischen Druck p_k des betreffenden Gases aus, so erhält man nach einigen Umformungen

$$\left(\frac{d\,p\,v}{d\,p}\right)_T = \frac{T_k}{p_k}\left(0{,}000257 - 0{,}00154\,\frac{T_k^2}{T^2}\right).$$

Es steht also zu erwarten, daß sich die Neigung der Isothermen mit wachsender Temperatur mehr und mehr dem Maximalwert b nähert. Hiermit stimmen indessen, wie Holborn und Otto zeigen konnten, die Messungen an Helium und Neon keineswegs überein. Diese Gase weisen vielmehr bei — 125° bzw. + 270° C den Maximalwert der Isothermenneigung auf, die bei noch höheren Temperaturen wieder geringere Werte annimmt und sich dem Wert $\varkappa = 0$ für ein ideales Gas nähert. Auch bei anderen Gasen, so insbesondere bei Wasserstoff, sind Andeutungen für ein gleichartiges Verhalten vorhanden. Wenn somit zweifellos feststeht, daß die Clausius-Berthelotsche Zustandsgleichung den Tatsachen nicht in jeder Beziehung gerecht wird, so kann sie dennoch in sehr wertvoller Weise über die Unterschiede zwischen der thermodynamischen Skala und der Gasskala orientieren.

t	$t - t_{gas}$ Gasfüllung					
	Helium		Wasserstoff		Stickstoff	
°C	v = konst.	p = konst.	v = konst.	p = konst.	v = konst.	p = konst.
0	± 0,000	± 0,000	± 0,000	± 0,000	± 0,000	± 0,000
50	− 0,000	− 0,000	− 0,000	− 0,001	− 0,009	− 0,024
	− 0,001*	− 0,000*	− 0,003*	− 0,004*	− 0,010*	− 0,032*
100	± 0,000	± 0,000	± 0,000	± 0,000	± 0,000	± 0,000
200	+ 0,000	+ 0,000	+ 0,003	+ 0,005	+ 0,051	+ 0,117
	+ 0,006*	+ 0,001*	+ 0,024*	+ 0,024*	+ 0,022*	+ 0,123*
400	+ 0,000	+ 0,000	+ 0,009	+ 0,021	+ 0,21	+ 0,46
	+ 0,037*	+ 0,006*	—	—	+ 0,12*	+ 0,53*
500	+ 0,000	+ 0,001	+ 0,015	+ 0,030	+ 0,32	+ 0,64
1000	+ 0,001	+ 0,012	+ 0,040	+ 0,076	+ 0,80	+ 1,70

Digitized by Google

In die vorstehende Tabelle sind die nach der Zustandsgleichung abgeleiten Differenzen $t - t_{gas}$ für einige Gasthermometer konstanten Volumens (Eispunktsdruck $p_0 = 1000$ mm Hg) und konstanten Druckes ($p = 1000$ mm Hg) zwischen 0 und 1000^0 aufgenommen und den von Holborn und Otto berechneten (durch einen Stern gekennzeichneten) Werten gegenübergestellt.

Ganz allgemein zeigen die Gasthermometer innerhalb des Fundamentalintervalles (d. h. zwischen 0 und 100^0 C) eine höhere, außerhalb des Fundamentalintervalles eine tiefere Temperatur an als der thermodynamischen Skala entspricht. Die Unterschiede sind besonders gering für das Heliumthermometer. Ein Heliumthermometer konstanten Volumens mit einem Eispunktsdruck von $p_0 \gtrless 1000$ mm weicht in seinen Angaben so wenig von der thermodynamischen Skala ab, daß die Unterschiede oberhalb -100^0 in die Fehlergrenze fallen und daß ein solches Heliumthermometer oberhalb -100^0 bis zur oberen Grenze seiner Brauchbarkeit eine ausgezeichnete Verwirklichung der thermodynamischen Temperaturskala darstellt. Die obere Grenze ist durch die Haltbarkeit der Thermometergefäße bedingt. Mit Helium in einem Platiniridiumgefäß sind bisher gasthermometrische Messungen bis etwa 1600^0 ausgeführt worden. Es dürfte möglich sein, diese Grenze unter Verwendung eines Gefäßes aus Wolfram noch um einige hundert Grad weiter hinauszuschieben. Ohne Zweifel ist dann aber der Genauigkeitsgrad der Messungen gering. Die Hauptschwierigkeit bei der gasthermometrischen Messung so hoher Temperaturen besteht in der gleichförmigen Temperierung des Gasthermometergefäßes. Längs eines Gefäßes von 15 cm Länge können mit den üblichen Mitteln eines physikalischen Laboratoriums die Temperaturunterschiede bei 1600^0 kaum unter 15^0 und bei 1100^0 kaum unter 5^0 heruntergedrückt werden, so daß bei sorgfältigster Berechnung der Mitteltemperatur die Genauigkeit der Messung nicht höher als etwa 3^0 bzw. 1^0 angenommen werden kann. Verhältnismäßig einfach zu handhaben ist das Gasthermometer nur in dem Bereich, das noch Flüssigkeitsbäder zuläßt, deren Temperatur durch kräftiges Rühren gut ausgeglichen werden kann. Für die Zwecke der Temperaturskala ist es indessen unerläßlich, gasthermometrische Messungen bis etwa 1100^0 C auszuführen.

Darüber hinaus können wir von der Gasthermometrie absehen, da im Bereich der Glühtemperaturen eine günstigere Methode zur Temperaturmessung auf den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik gegründet werden kann. Wendet man die Gesetze der Thermodynamik auf die Wärmestrahlung an, so findet man unter Berücksichtigung des Umstandes, daß die Strahlung einen Druck ausübt, das von Boltzmann theoretisch abgeleitete und von Stefan zuvor empirisch aufgestellte Gesetz der Gesamtstrahlung eines ideal schwarzen Körpers mit dem Absorptionsvermögen $A = 1$ für alle Wellenlängen. Hiernach ist die gesamte Strahlungsenergie (d. h. das Integral über die Strahlungsenergie aller Wellenlängenbereiche), welche ein schwarzer Körper von der Temperatur T auf einen schwarzen Körper der Temperatur T_a aussendet, gegeben durch $G = \sigma (T^4 - T_a^4)$, wenn σ eine empirische Konstante bedeutet. Führt man für T einmal die Erstarrungstemperatur des Wassers T_0, das andere Mal die normale Siedetemperatur des Wassers T_1 ein, so erkennt man, daß die Beobachtung der entsprechenden Werte $G = G_0$ bzw. $G = G_1$ nicht ausreicht, um aus der Bedingung $T_1 - T_0 = 100$ die Temperatur T_0 des Eispunktes abzuleiten. Es ist hierfür noch die Kenntnis des Wertes σ erforderlich. Zwar ist es möglich T_a so tief zu wählen, daß mit ausreichender Genauigkeit $G = \sigma T^4$ gesetzt werden darf und die beiden Größen T_0 und σ aus den Be-


Digitized by Google

ziehungen

$$T_0 = \frac{100}{\sqrt[4]{\frac{G_1}{G_0}} - 1} \quad \text{und} \quad \sigma = \frac{G_0}{T_0^4}$$

zu gewinnen, aber man verfährt praktisch viel genauer und einwandfreier so, daß man für T_a stets eine gasthermometrisch gemessene Temperatur in der Nähe der Zimmertemperatur ansetzt und σ aus der Gesamtstrahlung G' bei einer höheren Temperatur T' ermittelt, die ebenfalls auf gasthermometrischem Wege bestimmt ist. Ist T_a und σ bekannt, so ist jede beliebig hohe Temperatur T aus der beobachteten Gesamtstrahlung G bestimmbar. Es muß hier deutlich hervorgehoben werden, daß die Gleichung der Gesamtstrahlung für sich allein nicht das Fundament für eine Temperaturskala bilden kann und die Strahlungsmessungen nur im Anschluß an die Gasthermometrie die Basis für die Messung hoher Temperaturen liefern können.

Was in dieser Beziehung über die Gesamtstrahlung auseinandergesetzt wurde, gilt in gleicher Weise für die Teilstrahlung, d. h. die Strahlung in einem gewissen Wellenlängenbereich oder in einer bestimmten Farbe. Für die Intensität J der Teilstrahlung eines schwarzen Körpers von der Wellenlänge λ fand Planck durch Kombination der Quantentheorie mit den Hauptsätzen der Thermodynamik

$$J = C\lambda^{-5} \frac{1}{e^{\frac{c}{\lambda T}} - 1}.$$

C und c bedeuten Konstante, e die Basis der natürlichen Logarithmen. Mißt man die Wellenlängen λ in cm, so geht für $\lambda T < 0{,}3$ die Plancksche Gleichung mit genügender Genauigkeit in die von W. Wien aufgestellte Beziehung

$$J = C\lambda^{-5} e^{-\frac{c}{\lambda T}}$$

über. Für die Zwecke der Temperaturmessung benutzt man diese Gleichung am häufigsten in der Weise, daß man die Strahlungsintensitäten J_a und J_b eines schwarzen Körpers bei der Wellenlänge λ und den Temperaturen T_1 und T_2 miteinander vergleicht. Dann erhält man aus der letzten Gleichuug

$$\ln \frac{J_a}{J_b} = \frac{c}{\lambda} \left[\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_a} \right].$$

Die Konstante c ist nicht ohne gasthermometrische Messungen zu ermitteln, so daß auch diese Gleichung nicht zur unabhängigen Begründung der Temperaturskala dienen kann, wiewohl sie im Bereich hoher Temperaturen im Anschluß an das Gasthermometer von höchster Bedeutung ist. Sie ist der Gleichung für die Gesamtstrahlung insofern vorzuziehen, als ein beträchtlicher Teil der Gesamtstrahlung in schwer kontrollierbarer Weise durch den Wasserdampf und die Kohlensäure in der Atmosphäre absorbiert wird, zumal wenn es sich um nicht sehr hohe Temperaturen handelt. Die Gleichung für die Teilstrahlung aber ist von diesen Bedenken frei, da sie nur auf das sichtbare Gebiet angewendet wird und außerdem nur ein Intensitätsverhältnis in sie eingeht, das unabhängig von jeder Energieabsorption ist, solange diese nur bei den beiden Temperaturen T_a und T_b denselben (prozentigen) Betrag besitzt.

Ist die Konstante c bekannt und das Intensitätsverhältnis J_a/J_b gemessen, so erlaubt jene Gleichung eine beliebige Temperatur T_a zu ermitteln, wenn eine Bezugstemperatur T_b angenommen wird. Allerdings müssen sich die Strahlungsintensitäten J_a und J_b auf die sogenannte schwarze Strahlung beziehen. Für einen beliebigen Strahler,

Digitized by Google

dessen Absorptionsvermögen bei der Wellenlänge λ und den Temperaturen T_a und T_b die von 1 verschiedenen Werte A_a und A_b besitzt, gilt

$$\ln \frac{J_a}{J_b} = \ln \frac{A_a}{A_b} + \frac{c}{\lambda}\left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_a}\right).$$

Diese Beziehung ist im allgemeinen nicht gut zur Temperaturmessung verwendbar weil es schwierig ist, die Abhängigkeit des Absorptionsvermögens A von der Temperatur zu bestimmen.

3. Die praktische Begründung der Temperaturskala.

Die fundamentalen Methoden zur Temperaturmessung gründen sich von den tiefsten Temperaturen bis etwa 1100° auf die Gasthermometrie, darüber hinaus auf optisch pyrometrische Messungen. Für den praktischen Gebrauch ist das Gasthermometer allzu umständlich zu handhaben. Aus demselben Grunde kann man bei den Strahlungsmessungen die beobachtete Helligkeit nicht jedesmal mit der Helligkeit eines schwarzen Körpers gegebener Temperatur vergleichen. Man hat darum nach Thermometern gesucht, die einfacher sind, wenngleich ihre Angaben auch nicht unmittelbar auf die thermodynamische Skala zurückgeführt werden können. Es sind dies die sogenannten sekundären Thermometer, das Platinwiderstandsthermometer, das Thermoelement, das optische Pyrometer usw., die erst nach Anschluß an das Gasthermometer oder einen schwarzen Körper brauchbar sind. Aber auch der Anschluß der sekundären Thermometer an das Fundamentalinstrument ist recht schwierig und kann mit aller wünschenswerten Gründlichkeit nur in sehr wenigen Laboratorien der Erde durchgeführt werden. Vor allem kommen hierfür die großen nationalen Staatslaboratorien, in Deutschland die Physikalisch-Technische Reichsanstalt zu Charlottenburg, in Betracht. Glücklicherweise besitzen wir in den thermometrischen Fixpunkten, den Schmelz- und Siedepunkten chemisch reiner Körper, ein sehr gutes Hilfsmittel zur Eichung von sekundären Thermometern, das auch in kleinen Laboratorien leicht angewendet werden kann. Zuvor müssen nur die Temperaturwerte der Fixpunkte durch fundamentale Messungen, die wieder zu den Aufgaben der großen Staatslaboratorien gehören, festgelegt sein. Allerdings kann man leicht einsehen, daß die Eichung eines sekundären Thermometers an einzelnen Fixpunkten noch nicht genügt, um eine richtige Temperaturmessung mit dem Instrument unter allen Umständen zu gewährleisten. Man muß sicher sein, daß die zwischen den Fixpunkten gelegenen Temperaturen richtig interpoliert werden. Die Festlegung der Interpolationsregeln ist eine weitere Aufgabe der großen Laboratorien. Es ist naturgemäß, daß man sich hierbei auf einige wenige Arten von sekundären Thermometern beschränkt. Ja es kommt nur darauf an, für jedes Temperaturgebiet eine Type von bequem brauchbaren Thermometern zuverlässig für die Temperaturmessung eichen zu können, an die sich dann andere Thermometer wieder beliebig anschließen lassen. Man hat neben den Hauptnormalen, dem Gasthermometer und dem schwarzen Körper nebst zugehöriger photometrischer Einrichtung, thermometrische Gebrauchsnormale hergestellt, die auf sekundären Thermometern beruhen Da die besten sekundären Thermometer eine höhere relative Meßgenauigkeit besitzen als das Gasthermometer, so ist man schließlich für Temperaturen bis 1100° ganz dazu übergegangen, die praktische Temperaturskala auf die sekundären Thermometer zu gründen. In der Tat kommt es für die Praxis weniger darauf an, theoretisch richtige als mit Sicherheit reproduzierbare Temperaturen zu messen. Man befindet sich hier in einer ähnlichen Lage wie etwa bei der praktischen Festsetzung der Längeneinheit. Das Normalmeter im internationalen Büro zu Paris ist 0,086 mm


Digitized by Google

kürzer als der theoretische Wert von $1 \cdot 10^{-7}$ Erdquadrant, aber seine Brauchbarkeit als Einheitsmaß der Länge ist dadurch nicht beeinträchtigt. Natürlich wird es das Bestreben sein, sich dem theoretischen Wert so weit wie möglich anzunähern; sind aber die vorhandenen Abweichungen so klein, daß sie bei den weitaus meisten Messungen nicht ins Gewicht fallen, so dürfen sie ohne Bedenken hingenommen werden. In den wenigen Fällen, welche höhere Genauigkeit beanspruchen, wird es leicht möglich sein, die Abweichungen nach dem jeweiligen Stand der Messungen in Rechnung zu ziehen. Eine Skala des allgemeinen Gebrauches kann aus praktischen Gründen nicht stets den neusten Versuchsergebnissen angepaßt werden, da von ihr eine langfristige Gültigkeit gefordert werden muß.

Nicht alle Schmelz- und Siedepunkte sind für thermometrische Zwecke als Fixpunkte gleich geeignet. Es verdienen diejenigen Stoffe den Vorzug, die leicht genügend rein herstellbar sind, so daß keine Fehler infolge von Schmelzpunktserniedrigung oder Siedepunktserhöhung durch gelöste Verunreinigungen zu befürchten sind. Ferner ist möglichst große Schmelz- oder Verdampfungswärme erwünscht, da dann bei langsam geänderter Wärmezufuhr oder Wärmeableitung während einer möglichst langen Zeit konstante Temperatur bei dem Übergang von einem Aggregatszustand in den andern zu erzielen ist und die Messungen um so leichter durchgeführt werden können.

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten thermometrischen Fixpunkte nach den Bestimmungen der *Physikalisch-Technischen Reichsanstalt* zusammengestellt.

Körper	Umwandlung	Temperatur beobachtet Grad Celsius	Temperatur abgerundet Grad Celsius
Wasserstoff	Sieden	$-$ 252,78 $\pm$ 0,02	—
Stickstoff	Sieden	$-$ 195,81 $\pm$ 0,02	—
Sauerstoff	Sieden	$-$ 183,00 $\pm$ 0,02	—
Kohlensäure	Sublimieren	$-$ 78,51 $\pm$ 0,01	—
Quecksilber	Erstarren	$-$ 38,87 $\pm$ 0,01	—
Kadmium	Erstarren	$+$ $320{,}9_2$ $\pm$ 0,03	320,9
Zink	Erstarren	$+$ $419{,}3_9$ $\pm$ 0,04	419,4
Schwefel	Sieden	$+$ $444{,}5_4$ $\pm$ 0,05	444,55
Antimon	Erstarren	$+$ 630,0* $\pm$ 0,2	630
Silber	Erstarren	$+$ 961,7 $\pm$ 1,5	960,5
Gold	Schmelzen	$+$ 1063,9 $\pm$ 0,8	1063
Palladium	Schmelzen	$+$ 1557 $\pm$ 2	1557
Platin	Schmelzen	$+$ 1772 $\pm$ 4	—

* Diese Zahl ist einer Arbeit von Day und Sosman aus dem Jahre 1912 entnommen. Eine in der *Reichsanstalt* im Jahre 1900 ausgeführte Messung, bei der noch kein genügend reines Kadmium zur Verfügung stand, lieferte 630,7°.

Die Genauigkeitsgrenzen sind teils aus den Beobachtungen abgeleitet, teils geschätzt. Die zum Teil in Rücksicht auf anderweitige Messungen abgerundeten Werte der Temperatur liegen den amtlichen Prüfungen der Reichsanstalt zugrunde.

Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Kohlensäure und Quecksilber können in jedem Laboratorium ohne viel Mühe genügend von Verunreinigungen befreit werden. Die meisten anderen Körper sind im Handel genügend rein zu beziehen.

Der Siedepunkt von Wasserstoff läßt sich besonders einfach beobachten. In dem verflüssigten Gas treten keinerlei Siedevorzüge auf und alle Verunreinigungen, die bei technisch hergestelltem Wasserstoff in Frage kommen, sind bei der tiefen Temperatur erstarrt und besitzen einen so geringen Dampfdruck, daß ihre Gegenwart, ebenso wie diejenige der atmosphärischen Luft, nicht stört. Bei Stickstoff, Sauerstoff und Kohlen-


Digitized by Google

säure beobachtet man den Siede- bzw. Sublimationspunkt zweckmäßig unter Luftabschluß nach der statischen Methode. Der Erstarrungspunkt des Quecksilbers bietet keine Schwierigkeiten. Kadmium, Zink und Antimon läßt man in Graphittiegeln erstarren, um die Oxydation der an der freien Atmosphäre erhitzten Metalle in möglichst engen Grenzen zu halten. Sie tritt dann nur an der Oberfläche auf und ist ohne Einfluß auf den Fixpunkt. Schwefel läßt man ebenso wie Wasser unter Atmosphärendruck nach der dynamischen Methode sieden. Silber wird gewöhnlich in einem Porzellantiegel geschmolzen, doch muß das Metall mit einer Schicht Kochsalz bedeckt werden, da es im flüssigen Zustand an der Luft beträchtliche Mengen Sauerstoff aufnimmt, die seinen Schmelzpunkt stark erniedrigen. Gold kann man ohne störende Nebenerscheinungen im Porzellantiegel schmelzen. Im allgemeinen wird man von diesem kostbaren Metall ebenso wie von Palladium und Platin nur so geringe Mengen zur Verfügung haben, daß die Tiegelmethode nicht in Betracht kommt. Sie ist dann durch die sogenannte Drahtmethode zu ersetzen, die darin besteht, daß man ein kurzes Stück Draht (1 bis 2 cm) des Schmelzmetalles zwischen zwei Drähte höherer Feuerfestigkeit durch Anschmelzen einfügt und etwa in einem schwarzen Körper unter Beobachtung seiner Strahlung so hoch heizt, bis bei Erreichung des gesuchten Schmelzpunktes die Drahtverbindung unterbricht. Die Drahtmethode eignet sich vorzüglich auch zur Eichung von Thermoelementen, indem man die Schmelzprobe zwischen die beiden Schenkel des Elementes an der heißen Lötstelle einschmilzt.

Für die wissenschaftliche Messung von Temperaturen kommen als Gebrauchsnormale drei Arten sekundärer Thermometer in Betracht: das Platinwiderstandsthermometer, das Thermoelement Platin gegen Platin mit 10% Rhodium und das optische Pyrometer nach Holborn und Kurlbaum, vielfach kurz als Glühfadenpyrometer bezeichnet. Das früher bei wissenschaftlichen Messungen bevorzugte Quecksilberthermometer ist in den Hintergrund gedrängt, weil es wegen seiner zahlreichen Korrektionen mit dem Platinwiderstandsthermometer nicht in Wettbewerb treten kann.

Für das Platinthermometer kommt als besonders günstiger Umstand hinzu, daß der Widerstand des Drahtes in einem sehr großen Bereich als quadratische Funktion der Temperatur dargestellt werden kann. Die Genauigkeit, mit der die quadratische Beziehung gilt, ist zwischen -40 und etwa $+650^0$ so groß, daß bisher in diesem Bereich keine Abweichungen des Platinthermometers vom Gasthermometer nachgewiesen werden konnten. Dadurch ist die Eichung des Instrumentes sehr erleichtert. Bezeichnet man den Widerstand des Platindrahtes bei t^0 mit R_t, bei 0^0 mit R_0, so setzt man $R_t = R_0(1 + at + bt^2)$. Die drei Konstanten R_0, a und b sind durch Beobachtung des Widerstandes beim Schmelzpunkt des Eises, dem Siedepunkt des Wassers und dem Siedepunkt des Schwefels zu bestimmen. Nach dem Vorgang von Callendar verfährt man gewöhnlich so, daß man zunächst $R_t = R_0(1 + \alpha t_p)$ setzt, wobei $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$ ist und t_p die Platintemperatur heißt. Dann berechnet man aus dem Widerstand R_s am Schwefelsiedepunkt $t = t_s$ die zugehörige Platintemperatur $t_p^{(s)}$ und leitet aus t_s und $t_p^{(s)}$ die Konstante δ der Gleichung $t - t_p = \delta \frac{t}{100}\left(\frac{t}{100} - 1\right)$ ab. Im ganzen erhält man in dieser Darstellung

$$R_t = R_0\left[1 + \alpha\left(1 + \frac{\delta}{100}\right)t - \frac{\alpha\delta}{100^2}\,t^2\right].$$

Für reines Platin hat α ungefähr den Wert 0,00391 und δ den Wert 1,51. In ge-


Digitized by Google

ringen Grenzen wechseln diese Größen je nach dem Kristallisationszustand, in dem sich das Platin befindet.

Unterhalb 0^0 verliert die einfache quadratische Gleichung für das Widerstandsthermometer bald ihre Gültigkeit. Grüneisen hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, daß der Widerstand der Metalle in erster Näherung durch das Produkt aus der absoluten Temperatur und der Atomwärme dargestellt werden kann. Da nun die Atomwärme eine ziemlich verwickelte Funktion der Temperatur ist, so ist nicht zu erwarten, daß für den Widerstand von den tiefsten bis zu den höchsten Temperaturen eine einfache Beziehung aufgefunden werden kann. In großen Zügen ist die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur durch eine S-förmige Kurve wiederzugeben derart, daß in der Nähe des absoluten Nullpunktes der Temperaturkoeffizient des Widerstandes nicht von 0 verschieden ist und daß mit steigender Temperatur der Widerstand zuerst langsam, dann schneller und schließlich wieder langsamer wächst. Die Widerstandskurve besitzt also einen Wendepunkt. Für reines Platin liegt der Wendepunkt bei etwa -190^0. Einstweilen kann man den Widerstand des Platins nur in beschränkten Temperaturbereichen durch einfache Formeln darstellen, und man ist genötigt, mehrere derartiger Formeln aneinander zu reihen, wenn man in dem ganzen für das Platinwiderstandsthermometer geeigneten Gebiet die Temperatur aus dem Widerstand berechnen will. Wenn es sich darum handelt, durch diese Formeln die Temperaturskala darzustellen, so empfiehlt es sich zunächst nicht, das Gebiet unterhalb der Temperatur der flüssigen Luft in die Betrachtung hineinzuziehen, da hier noch nicht genügend Beobachtungsmaterial vorliegt. Es hat sich aber gezeigt, daß man zwischen 0 und -193^0 mit einer einzigen Formel auskommt, indem man in diesem Gebiet $R_t = R_0(1 + at + bt^2 + ct^4)$ setzt. Zur Bestimmung der vier Konstanten R_0, a, b und c ist das Platinwiderstandsthermometer an den vier verfügbaren Fixpunkten, dem Schmelzpunkt des Eises, dem Erstarrungspunkt des Quecksilbers, dem Sublimationspunkt der Kohlensäure und dem Siedepunkt des Sauerstoffes zu eichen. Da ferner das Widerstandsverhältnis $r_1 = (R_t/R_0)_1$ eines Platinthermometers mit dem Widerstandsverhältnis r_2 eines zweiten Platinthermometers von gleicher Temperatur in der Beziehung $r_2 = r_1 + At + Bt^2$ steht, so ist ersichtlich, daß die Konstante c für alle Thermometer als die gleiche angesehen werden kann. Nach den Messungen der Reichsanstalt ist $c = -5{,}08065 \cdot 10^{-12}$ zu setzen. Es bleiben dann nur noch die drei Konstanten R_0, a und b zu bestimmen, so daß die Eichung am Sublimationspunkt der Kohlensäure fortbleiben kann. Nun haben besondere Versuche gezeigt, daß zwischen 0 und -40^0 die Gleichung vierten Grades mit der Callendarschen Gleichung innerhalb der Fehlergrenzen der Messung übereinstimmt. Sind die Konstanten der Callendarschen Gleichung für ein Platinwiderstandsthermometer ermittelt, so kann man also den Widerstand des Thermometers am Quecksilberschmelzpunkt berechnen, so daß sich die Eichung auch an diesem Fixpunkt erübrigt. Durch ein Platinwiderstandsthermometer kann man somit die Temperaturskala von -190 bis 450^0, ja selbst bis 650^0 mit der größten zur Zeit erreichbaren Genauigkeit darstellen, wenn man das Thermometer außer an den fundamentalen Fixpunkten 0 und 100^0 an den Siedepunkten von Schwefel und Sauerstoff eicht. Allerdings muß man sich hierbei zweier verschiedener Interpolationsformeln bedienen, von denen die eine das Gebiet von $+650^0$ bis -40^0, die andere das Gebiet von 0 bis -193^0 umspannt.

Zur Darstellung der Temperaturskala oberhalb des Schwefelpunktes bedient man sich des Thermoelements Platin gegen Platin mit $10\,^0/_0$ Rhodium. Es findet bis zum


Digitized by Google

Palladiumschmelzpunkt Verwendung. Für seine Eichung hat man eine ganze Reihe von Festpunkten verfügbar. In der *Reichsanstalt* hat man bisher die Erstarrungs- bzw. Schmelzpunkte von Kadmium, Antimon, Gold und Palladium bevorzugt und die elektromotorische Kraft e des Elementes durch die Beziehung $e = e_0 + pt + qt^2 + rt^3$ dargestellt. Hierbei ist angenommen, daß sich die Hauptlötstelle auf der Temperatur t, die Nebenlötstelle auf der Temperatur 0^0 befindet. Die gewählte Beziehung hat von etwa 300^0 ab Gültigkeit. Sie darf aber nicht bis 0^0 extrapoliert werden, denn es ergibt sich e_0 zu etwa -10 Mikrovolt, und man erhält für etwa $t = +16^0$ die elektromotorische Kraft $e = 0$.

Es ist leicht die Formel so abzuändern, daß sie $e = 0$ für $t = 0$ liefert ohne die Zahl der Konstanten zu vermehren, indem man etwa $e = t[u + vt + wt^2 + zt^3]$ setzt. Allerdings ist zu bedenken, daß bei derselben Eichung beide Formeln zu verschiedenen Temperaturen im Interpolationsgebiet zwischen den Fixpunkten führen. Eine in dieser Richtung angestellte Durchrechnung ergab, daß beim Schmelzpunkt des Zinks Unterschiede von über $0{,}4^0$, bei 800^0 von fast $0{,}5^0$ und bei 1400^0 von $1{,}3^0$ vorhanden sind. Wenn es zweifellos bereits schwierig ist, bei diesen beiden letzteren Temperaturen absolute Messungen mit höherer Genauigkeit als $0{,}5^0$ und $1{,}3^0$ auszuführen, so ist am Zinkschmelzpunkt ein Zweifel von $0{,}4^0$ unzulässig. Bis weitere Beobachtungsdaten vorliegen, wird man, den Vorschriften der Reichsanstalt entsprechend, deshalb mit der zuerstgenannten Gleichung rechnen müssen.

Oberhalb 1100^0 führt man häufig die Temperaturmessung nicht mit dem Thermoelement aus, sondern bedient sich der optischen Pyrometrie. In diesem Bereich beginnen alle Körper, die in tieferer Temperatur gute Isolatoren sind, elektrisch leitend zu werden, so daß es oft schwierig ist, die elektromotorische Kraft des Thermoelementes genügend sicher zu messen.

Die optische Temperaturmessung bedarf, wie schon erwähnt, eines Fixpunktes als Basispunkt der Skala. Am besten eignet sich hierfür der Schmelzpunkt des Goldes. Man hat also einen schwarzen Körper auf die Temperatur dieses Schmelzpunktes zu bringen und die Helligkeit des schwarzen Körpers dieser Temperatur bei irgendeiner Wellenlänge als Helligkeitseinheit zu betrachten. Mißt man in dieser Einheit dann bei derselben Wellenlänge die Helligkeit eines schwarzen Körpers beliebiger Temperatur, dann kann man nach der angegebenen Gleichung diese Temperatur ermitteln, wenn man $c = 1{,}43$ cm · Grad setzt. Diese Konstante hat sich experimentell mit einer Sicherheit von etwa $0{,}5\,^0/_0$ ergeben. Die amerikanischen Forscher bevorzugen den Wert $c = 1{,}435$. Doch ist zu bemerken, daß theoretische Überlegungen zugunsten von 1,430 sprechen, so daß es sich empfiehlt, bei allen Messungen diese Zahl der Berechnung zugrunde zu legen.

Für die Beobachtung des Helligkeitsverhältnisses eines schwarzen Körpers bei der Temperatur t und der Temperatur des Goldschmelzpunktes eignet sich jede photometrische Einrichtung. Am häufigsten findet hierfür im In- und Ausland jetzt das Glühfaden-Pyrometer von Holborn und Kurlbaum Verwendung. Gewöhnlich wird bei diesem Instrument die Wellenlänge durch ein rotes Farbglas festgelegt, doch kann es auch mit spektraler Zerlegung eingerichtet werden.

Der Hauptbestandteil des Pyrometers ist eine kleine Glühlampe für etwa 4 Volt Spannung, deren Stromstärke i so eingestellt wird, daß der Glühfaden die gleiche Flächenhelligkeit wie der Strahler besitzt. Die Eichung erfolgt gewöhnlich vor einem schwarzen Körper, dessen Temperatur t in der thermodynamischen Skala bekannt ist. Stellt man dann i als Funktion von t dar, so kann man jeder Strom-


Digitized by Google

stärke eine Helligkeit zuordnen, die einer bestimmten Temperatur des schwarzen Körpers entspricht. Die Temperatur t wird bisher häufig durch ein Thermoelement festgelegt, doch kann man sie auch mittels der Strahlungsgleichung bestimmen, wenn man das optische Pyrometer zunächst vor einem schwarzen Körper von der Temperatur des Goldschmelzpunktes eicht und dann die Helligkeit des schwarzen Körpers von der Temperatur t durch einen rotierenden Sektor bekannter Öffnung so weit schwächt, daß sie wieder mit der Helligkeit der beim Goldschmelzpunkt geeichten Pyrometerlampe übereinstimmt. Ist die Stromstärke i der Pyrometerlampe auf diese Weise bei einer Anzahl von Temperaturen bekannt, so interpoliert man mit einer möglichst einfachen Gleichung. Gewöhnlich umfassen die Messungen den Bereich von 900 bis 1500°. Hat man außer den Grenztemperaturen noch etwa bei 1100 und 1300° gemessen, so stellt man i als Gleichung dritten Grades von t dar. Genaue Vorschriften über diese Eichung bestehen bisher noch nicht, obwohl das so geeichte optische Pyrometer den gleichen Wert für die Messung der Glühtemperaturen besitzt wie das Thermoelement und das Platinwiderstandsthermometer für die Messung tieferer Temperaturen. In der Tat kann man nach Einstellung des optischen Pyrometers allein durch Ablesung des Lampenstroms jede Flächenhelligkeit sofort durch die Temperatur t eines schwarzen Körpers gleicher Flächenhelligkeit kennzeichnen. Handelt es sich um so hohe Helligkeiten, daß $t > 1500^0$, so würde bei unmittelbarer Einstellung die Pyrometerlampe überlastet. Man läßt darum das Licht solcher Strahler zunächst durch ein oder mehrere Rauchgläser treten und photometriert die so auf mindestens 1500° abgeschwächte Strahlung mit der Pyrometerlampe.

Die Größe der Lichtschwächung, die leicht bestimmbar ist, geht gemäß der Grundgleichung für die Pyrometrie in die Temperaturbestimmung ein. Eine obere Grenze besteht für die optische Pyrometrie nicht. Allerdings bedarf die Grund-Gleichung für den Fall, daß sehr hohe Temperaturen mit sehr großer Genauigkeit gemessen werden sollen, noch einer Korrektion, die auf dem Unterschied zwischen der Formel von Wien und der Formel von Planck beruht; die einfache Gleichung reicht indessen vollständig aus, solange das Produkt zwischen der Wellenlänge (gemessen in Zentimeter) und der gesuchten Temperatur T den Betrag 0,3 nicht überschreitet. Hiernach ist die unkorrigierte Formel zur Temperaturmessung bis etwa $T = 5000^0$ brauchbar.

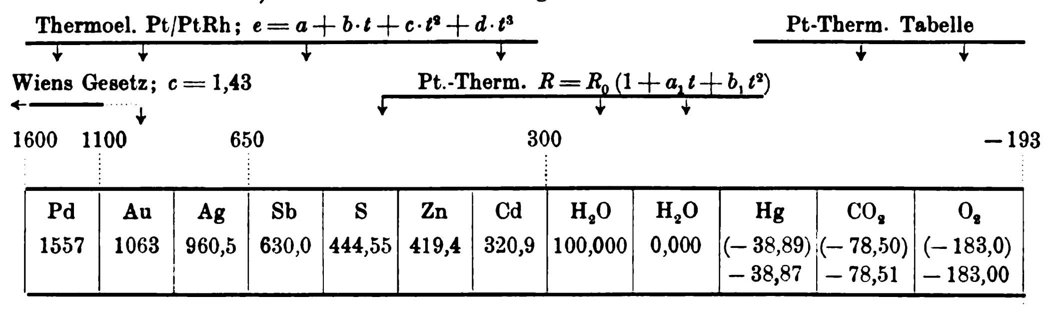
Zur Kontrolle der auf den Goldschmelzpunkt gegründeten Strahlungsskala empfiehlt es sich, gelegentlich eine Messung am Palladiumschmelzpunkt durchzuführen. Man erhält dadurch einen wichtigen Anhalt für die Zuverlässigkeit der pyrometrischen Einrichtung und insbesondere dafür, ob alle an die Schwärze des Körpers zu stellenden Forderungen genügend erfüllt sind.

Die Eichung einer Pyrometerlampe erfordert einstweilen noch so große Mittel, daß sie nur in einem für diesen Zweck gut eingerichteten Laboratorium vorgenommen werden kann. Man ist bei jedem Anschluß genötigt, auf das Hauptnormal, den schwarzen Körper, zurückzugehen oder kann sich allenfalls eines Strahlers bedienen, der von Zeit zu Zeit mit dem schwarzen Körper verglichen wird. Es bleibt der Zukunft vorbehalten, eine Methode aufzufinden, nach der ein einfacher Strahler mittels eines oder mehrerer Fixpunkte ohne Verwendung eines schwarzen Körpers auf seine Helligkeit geeicht werden kann. Erst dann kann die optische Temperaturmessung als ebenso einfach begründet angesehen werden, wie die Temperaturmessung durch das Platinwiderstandsthermometer und das Thermoelement.

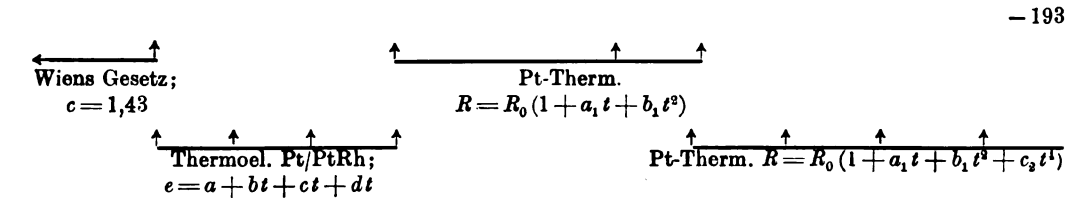

Digitized by Google

Die Temperaturskala der Reichsanstalt

a) nach der Veröffentlichung vom 16. Dezember 1915.



Pd	Au	Ag	Sb	S	Zn	Cd	H_2O	H_2O	Hg	CO_2	O_2
1557	1063	960,5	630,0	444,55	419,4	320,9	100,000	0,000	(− 38,89)	(− 78,50)	(− 183,0)
									− 38,87	− 78,51	− 183,00



b) Dieselbe Skala unter Vermeidung doppelter Definition der Temperatur.

Die vorstehende Darstellung bietet einen bequemen Überblick über die Definition der Temperaturskala in den verschiedenen Temperaturbereichen. In der Mitte sind die Fixpunkte angegeben, wie sie in der Veröffentlichung der *Physikalisch-Technischen Reichsanstalt* vom 16. Dezember 1915 (vgl. *diese Zeitschr.* ***40.*** *S. 20. 1920*) mitgeteilt sind. Die drei eingeklammerten Zahlen sind inzwischen durch die darunterstehenden zu ersetzen, und zwar die Zahlen für Quecksilber und Sauerstoff auf Grund neuer Bestimmungen, die Zahl für Kohlensäure auf Grund der alten Bestimmung, jedoch ohne Kürzung der letzten Stelle. Die horizontalen (ausgezogenen) Striche beziehen sich auf die verschiedenen Bereiche, von denen jeder eine besondere Temperaturdefinition erfordert. Die Art des Thermometers und die Interpolationsformel ist (außer für die Strahlungsmessungen) hierbei angegeben und die Länge des Striches über der Reihe der Fixpunkte je nach dem Umfang des Bereiches abgemessen. Auf die Fixpunkte, an denen die Eichung des Interpolationsinstrumentes stattzufinden hat, oder die den Strahlungsmessungen zugrunde liegen, ist durch kurze Pfeile verwiesen. Liegt ein Eichpunkt außerhalb des zugehörigen Bereiches für die Temperaturdefinition, so ist der betreffende Pfeil mit der ausgezogenen Linie durch eine gestrichelte verbunden. Mehrfach werden die einzelnen Bereiche nicht durch Fixpunkte, sondern durch runde Temperaturwerte begrenzt. Dann endet der ausgezogene Strich nicht mitten über einem Fixpunkt, sondern über einer vertikalen Linie, an der die betreffende runde Temperatur angeschrieben ist.

Die Darstellung oberhalb der Reihe der Fixpunkte bezieht sich in allen Einzelheiten auf die genannte Veröffentlichung der *Reichsanstalt* vom Jahre 1915. Im Anschluß an die Ausführungen auf den vorhergehenden Seiten ist hier nur noch zu bemerken, daß 1915 noch keine Interpolationsformel für das Platinthermometer unterhalb — 40° bekannt war. Man mußte sich zur Herleitung der Temperatur aus dem Widerstand einer Tabelle bedienen, die für ein bestimmtes Platinwiderstandsthermometer aufgestellt war und für ein anderes Platinthermometer umgerechnet werden konnte, wenn dieses am Sublimationspunkt der Kohlensäure und dem Siedepunkt des Sauerstoffes geeicht war. Im übrigen ist darauf hinzuweisen, daß nach den ge-

Digitized by Google

gebenen Vorschriften in gewissen Bereichen die Temperatur nach zwei verschiedenen Methoden definiert ist. Der Kenner ist nicht zweifelhaft, welche von beiden in den einzelnen Fällen die genauere ist und letzten Endes allein in Betracht kommt. Die andere Methode ist nur deshalb mit herangezogen, weil sie unter gewissen Umständen, insbesondere wenn nicht die höchste Genauigkeit gefordert wird, sehr zweckmäßig ist. Vom theoretischen Standpunkt aus ist es indessen vorzuziehen, solche doppelten Definitionen zu vermeiden. Es sind hierfür mehrere, sich in geringen Einzelheiten unterscheidende Wege möglich, die alle darin übereinstimmen, daß sie keine merkliche Änderung der einmal definierten Skala zur Folge haben. Die graphische Darstellung unterhalb der Reihe der Fixpunkte gibt einen solchen Weg an. Die einzelnen Bereiche sind so gewählt, daß sie möglichst durch Fixpunkte begrenzt werden. Die einschneidendste Veränderung ist mit dem Temperaturbereich des Thermoelementes vorgenommen, das von 1300^0 auf etwa 620^0 verkürzt ist.

Über die Grenze der physikalischen Meßgenauigkeit.

Von

Walter Block in Charlottenburg.

Alle Messungen werden letzten Endes auf die drei Grundeinheiten des physikalischen Maßsystems bezogen, die Längen-, Massen- und Zeiteinheit. Alle übrigen Maßeinheiten haben nur den Charakter von Zwischeneinheiten, die für den praktischen Gebrauch bequemer sind als jene Grundeinheiten. Eine gewisse Ausnahmestellung nimmt allein die Lichtstärkeneinheit ein, die zurzeit nur erst in losem Zusammenhang mit jenen steht, wegen des Einflusses physiologischer Vorgänge, die mit zu berücksichtigen sind. Das hat zur Folge, daß ihre Verbindung mit den mechanischen Maßgrößen für die Energie Schwierigkeiten bereitet.

Es gibt nur verhältnismäßig wenig physikalische, auch astronomische Größen, die mit einer derart hohen Meßgenauigkeit gemessen werden müssen, daß diese in die Nähe der Definitionsgenauigkeit der Grundeinheiten kommt. Abgesehen von Längenmessungen jeder Art, einschließlich Lichtwellen, kommen wohl im wesentlichen nur noch Messungen der Schwerebeschleunigung und elektrische Spannungs-Widerstands-Kapazitäts- und Selbstinduktionsmessungen in Frage, also nur solche, die eine Genauigkeit von mehr als 1×10^{-5} verlangen. Die mit leichter Mühe am genauesten ausführbaren Massenbestimmungen scheiden nahezu vollkommen aus, da es sich bei ihnen fast immer nur um relative Messungen handelt, bei denen die ermittelten absoluten Massen ganz bedeutungslos sind. Es sei z. B. nur an die verschiedenen mit höchster Sorgfalt und Genauigkeit ausgeführten Versuchsreihen zur Nachprüfung des Gesetzes der Erhaltung der Masse[1]) hingewiesen. Etwas Ähnliches gilt auch für die Drehwaagenmessungen zur Bestimmung der Schwerkraftverteilung[2]). Auf weitere Beispiele kann verzichtet werden.

Die Grundeinheit für die Zeitmessung unterscheidet sich ganz wesentlich von den beiden anderen Einheiten, da sie ein reines Naturmaß ist, das keiner Verkörperung durch irgend welche Normalien bedarf. Überdies wird sie durch einen perio-

---

[1]) H. Landolt, *Berl. Ber. 1893. S. 301; 1906. S. 266; 1908. S. 354;* H. Manley, *Phil. Trans.* **212**. *S. 227. 1912.*

[2]) Vgl. z. B. D. Pekár, *diese Zeitschr.* **42**. *S. 173. 1922;* W. Schweydar, *diese Zeitschr.* **42**. *S. 179. 1922.*

Digitized by Google

dischen Vorgang, die Umdrehung der Erde um ihre Achse, dargestellt, was sofort die Maßeinheit des Sterntages gibt, von der die übrigen gebräuchlichen Zeiteinheiten abgeleitet werden. Dadurch, daß diese Einheit durch einen periodischen Vorgang dargestellt wird, ist es bei ihr nicht möglich, in ähnlicher Weise, wie z. B. bei dem Meter, von einer Definitionsgenauigkeit zu reden. Wenn man also, wie später noch behandelt wird, sagen kann, daß keine Längenmessung genauer als auf rund 0.5×10^{-6} ausgeführt werden kann, so ist eine entsprechende Aussage für die Zeitmessungen sinnlos. Bezieht man bei einer Versuchsreihe die Zeitbestimmung auf die Festlegung des Anfanges und Endes eines Sterntages und kann man beides z. B. auf 0,1 Sekunde genau ausführen, so kann man eine größte Meßgenauigkeit für alle Zeitmessungen von $\frac{2}{864000}$ erhalten. Kann man diese beiden Zeitpunkte weiter auseinanderlegen, so erhält man eine höhere Meßgenauigkeit. Die Dinge liegen hierbei ganz anders wie bei den übrigen Einheiten. Die Frage der Meßgenauigkeit der Zeitmessungen ist eine reine Frage der instrumentellen Hilfsmittel, oder, deutlicher gesagt, eine Frage der Konstanz des Uhrganges. Je günstiger die instrumentellen Hilfsmittel sind, desto weiter kommt man in der Meßgenauigkeit des Zeitmessens. Man kann also für diese von einer Grenze der Meßgenauigkeit allgemein nicht sprechen.

Für die Längenmessungen dagegen ist eine Grenze durch die Definitionsgenauigkeit des Internationalen Meters und der nationalen Prototype, die beide die Meterlänge verkörpern, gegeben. Die geschichtliche Entwicklung hat es mit sich gebracht, daß das Internationale Meter durch ein Strichmaß verkörpert wird. Hierbei ist eine gewisse Unsicherheit unvermeidlich, dadurch daß die Striche nicht die Vollkommenheit besitzen, die wohl verlangt werden kann, aber praktisch nicht erreichbar ist. Die Zuverlässigkeit der Einstellung auf sie hängt nicht nur von der persönlichen Auffassung des Beobachters ab, sondern auch von der Art der Beleuchtung und der angewendeten Mikroskopvergrößerung. Überdies ist eine Grenze der Einstellgenauigkeit aus physiologischen Gründen bedingt. Es ist hier nicht der Ort, die vielfachen Erörterungen über die Genauigkeit der Meterdefinitionen zusammenzustellen, es mag genügen, darauf hinzuweisen, daß man die Meterlänge auf Grund der Leistungen der Prototypmeter als auf etwa 0,5 bis höchstens 0,3 μ sicher annehmen kann[1]). Damit ist gleichzeitig die Meßgenauigkeit für alle Längenmessungen jeder Art festgelegt. Maßangaben in Länge von höherer scheinbarer Genauigkeit als jene 3 bis 5×10^{-7} haben keinen reellen Wert mehr.

Durch den Anschluß des Meters an Lichtwellenlängen ist es zur Zeit auch höchstens mit dieser Genauigkeit definiert. Man kann vielleicht sogar annehmen, daß durch die beiden, bisher vorliegenden Messungreihen[2]) jene Genauigkeit noch nicht ganz erreicht wird. Bei dem heutigen Stand der Meßtechnik kann man indessen mit dem bisher Erreichten sich begnügen. Anders gestaltet sich das aber, sobald man die bisherige Definition des Meters verläßt und seine Länge in Lichtwellenlängen angibt. Ist für die Meterlänge einmal eine feste Zahl von Lichtwellen (welcher Art die Lichtwellen sind, interessiert hier nicht) international angenommen, und daß das geschieht, ist nur noch eine Frage der Zeit, so ist damit die Grenze der Meßgenauigkeit nach Belieben vergrößert. Denn in ähnlicher Weise, wie es zum Beispiel regel-

[1]) W. Plato, *Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ing.* **61.** *S. 997. 1917.*

[2]) A. A. Michelson, *Trav. et Mém. du Bur. Int. des Poids et Mesures* **11.** *S. 1. 1895;* R. Benoît, Ch. Fabry u. A. Perot, *Trav. et Mém.* **15.** *S. 1. 1913.*

Digitized by Google

mäßig bei der gesetzlichen Definition der Stromstärkeneinheit geschieht, liegt auch hier kein Hinderungsgrund vor, die dann zugrunde gelegte Zahl durch Anschließen weiterer Stellen mit den Ziffern 0 beliebig zu verlängern. Ob das in absehbarer Zeit eine praktische Bedeutung hat, mag dahingestellt bleiben. Der Übergang der Meterdefinition von der Prototypform zur Festlegung in Lichtwellen soll ja auch weniger dem Zweck der Erhöhung der Meßgenauigkeit dienen, als Gründen der Bequemlichkeit und Vergrößerung der Meßsicherheit, da sich im Laufe der Jahre herausgestellt hat, daß bei Längenmessungen höherer Genauigkeit in der überwiegenden Zahl der Fälle die Anwendung der Lichtwellen zu Meßzwecken sehr bequem und genau ist, und der sehr lästige Übergang von Maßen in Endmaßform auf solche in Strichmaßform entfällt. Man beachte hierbei außerdem, daß Endmaße eine ganz überwiegend häufigere Anwendung finden, als Strichmaße. Überdies werden durch eine solche Definition alle Unvollkommenheiten der Prototype beseitigt, wobei noch besonders darauf hingewiesen werden soll, daß nach den letzten Ergebnissen der Nachprüfung einzelner Meterprototype gewisse Veränderungen, die vielleicht auch das Internationale Prototyp beeinflussen, nicht als vollkommen ausgeschlossen erscheinen[1]).

Es ist jedenfalls für die Festlegung der Längeneinheit erwünscht, daß durch Wiederholung der Messungsreihen über die Auswertung des Meters in Lichtwellenlängen die bisher bekannten Zahlen so gesichert werden, daß man ohne Bedenken das bisherige Meter nicht durch das Prototyp zu verkörpern braucht, sondern es durch Lichtwellen definiert. Eine Erhöhung der möglichen Meßgenauigkeit ist damit nicht ohne weiteres gegeben.

Ähnlich liegt es mit der Masseneinheit. Bei der erstmaligen Ausgabe der Massenprototype garantierte das Internationale Bureau eine Übereinstimmung der einzelnen Stücke mit dem Prototyp unter Berücksichtigung der Fehlerangaben der Stücke auf 2×10^{-9} [2]). Es ist klar, daß diese ungeheure Genauigkeit sich nicht hat aufrechterhalten lassen. Neuerdings stellt sich daher auch das Internationale Comité auf den Standpunkt, daß eine Veränderung der Massen der Stücke vom 5×10^{-8} auf eine tatsächliche Massenänderung erst hinweise, während kleinere scheinbare Massenänderungen nur den möglichen Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden könnten[3]).

In ähnlicher Weise wie bei der Längeneinheit wird es für die Masseneinheit nicht gut möglich sein, anzugeben, mit welcher Genauigkeit sie definiert ist. Es ist dabei im übrigen zu berücksichtigen, daß ein Bedürfnis für eine sehr weitgehende strenge Unveränderlichkeit der Masseneinheit nicht so sehr besteht, wie für die Längeneinheit, aus dem einfachen Grunde, weil Massenbestimmungen ganz besonders hoher Genauigkeit praktisch kaum vorkommen, so lange man nur absolute Messungen berücksichtigt. Relative Massenbestimmungen, wie schon zu Beginn erwähnt, werden dagegen vielfach mit äußerster Genauigkeit ausgeführt. Man geht wohl nicht fehl, wenn man annimmt, daß das Kilogramm heute mit einer Zuverlässigkeit von wenigen Hundertstel Milligramm, d. h. also rund auf 5×10^{-8} festgelegt ist. Auf eines muß dabei aber hingewiesen werden. Während man bei den Metern mit einiger Berechtigung wohl sagen kann, daß Längenänderungen bei ihnen nicht sehr wahrscheinlich sind, daß insbesondere, wenn man den Standpunkt vertritt, daß die Meterlänge nicht nur durch das einzige Prototyp, sondern durch dieses in Verbindung mit allen nationalen Proto-

[1]) Vgl. die letzten Jahrgänge der *Proc. Verb. du Comité Intern. des Poids et Mesures.*

[2]) Vgl. z. B. *Wissensch. Abh. d. Kais. Norm.-Aich.-Komm.* **1.** *S. 10. 1895.*

[3]) Ch. Ed. Guillaume, *Trav. et Mém. du Bur. Intern. des Poids et Mesures* **16.** *S. 33. 1917.*


Digitized by Google

typen definiert ist, so kann man dieser Definition wohl auch zeitlich eine gewisse Berechtigung zuerkennen, da gleichförmige Veränderungen systematisch in einer Richtung nicht zu erwarten, allerdings auch nicht ganz ausgeschlossen sind. Im übrigen sei auf das Vorstehende verwiesen. Eine gleiche Zuversicht kann man aber beim Kilogramm nicht haben, denn man muß beachten, daß jede Benutzung der Massenstücke eine Gefährdung bedeutet. Jedes Aufsetzen auf die Waagenschale oder einen Untersatz, jede Verschiebung beim Justieren auf der Waage, jede Säuberung bedeutet ein Abschleifen der in Frage kommenden Oberfläche, und ist notwendigerweise mit einem, wenn auch glücklicherweise bedeutungslosen Massenverlust verbunden, von dem man nie weiß, ob er nicht allmählich meßbare Beträge erreicht. Derartig unkontrollierbaren Verlusten sind alle Massenprototype im gleichen Sinne und in gleicher Richtung ausgesetzt, einschließlich des Internationalen, und das ist der wichtigste Grund, der eine Sicherstellung der Masseneinheit zur Notwendigkeit macht.

Solche Versuche, als Anschlüsse der Masseneinheit an die Längeneinheit oder als Messung des Verhältnisses von Kubikdezimeter und Liter bezeichnet, sind schon mehrfach ausgeführt worden[1]). Sie geben aber bisher die Masseneinheit nur auf eine Genauigkeit von 1 bis 2×10^{-6}, sind also noch weit von der Sicherheit entfernt, mit der jetzt angeblich die Masseneinheit verbürgt ist.

Hierbei muß auf einen sehr wichtigen Umstand hingewiesen werden, der bisher noch niemals beachtet ist. Wenn man die Dimensionsformeln aller beliebigen physikalischen Maßgrößen durchsieht, so wird man finden, daß in ihnen die Masseneinheit niemals in einer höheren Potenz vorkommt, wie die Längeneinheit. Es ist das ein ungemein wichtiger Umstand, er bedeutet nämlich, daß bei keiner Messung die Masse mit einer höheren Genauigkeit bekannt zu sein braucht, wie die Länge. Das bedeutet weiter, daß es vollkommen überflüssig ist, die Masseneinheit mit einer höheren Genauigkeit festzulegen, als es für die Längeneinheit der Fall ist. Es heißt das, daß alle Versuche über die Festlegung der Masseneinheit. soweit sie eine Genauigkeit von 5×10^{-7} etwa übersteigen, an sich sinnlos sind. Damit soll indessen die ungeheure Arbeit, die darauf verwendet ist, nicht herabgesetzt werden, denn sie hat trotzdem sehr wichtige Ergebnisse gehabt. Wir haben durch sie viele Erfahrungen über die Veränderlichkeit von Massennormalen gesammelt, die Wägungsgenauigkeit mit den äußeren Einflüssen auf sie ist sehr sorgfältig untersucht worden, und das ist von ausschlaggebender Wichtigkeit für eine große Reihe von bedeutsamen Messungen, wovon z. B. die Versuche von Kohlrausch und Hallwachs[2]) ebenso wie die obengenannten von Landolt Zeugnis ablegen.

Aus dem Vorstehenden folgt also, daß es zu einer ausreichenden Festlegung der Masseneinheit genügt, wenn sie mit gleicher Genauigkeit wie die Längeneinheit reproduzierbar ist. Das läuft zunächst wenigstens darauf hinaus, daß die bisher erreichte Genauigkeit nur noch um das Fünffache etwa zu steigern ist. Allerdings besteht dabei ein grundsätzliches Hindernis. Zur Ausführung einer solchen Messung ist es notwendig, den Raumgehalt eines Versuchskörpers durch Längenmessung zu ermitteln. Daraus folgt, daß man grundsätzlich nur in der Lage ist, den Raumgehalt mit einer Genauigkeit zu ermitteln, die nur ein Drittel der Genauigkeit der Längeneinheit ist. Danach erscheint es unmöglich, bei der Zurückführung der Masseneinheit auf die Längeneinheit die gleiche Sicherheit zu erlangen wie für die Längeneinheit.

---

[1]) Enthalten in *Trav. et Mem. du Bur. Intern. des Poids et Mesures, Bd. 14.*

[2]) F. Kohlrausch und H. Hallwachs, *Wied. Ann. 50. S. 118. 1893.*

Digitized by Google

Praktisch liegen die Verhältnisse indessen nicht so ungünstig, denn es tritt notwendigerweise eine gewisse Kompensation der Fehler ein, die diese theoretische Unsicherheit merklich herabzudrücken imstande ist. Schwieriger sind natürlich die Einflüsse systematischer Fehler zu vermeiden, die nur so umgangen werden können, daß man die einzelnen Messungen nach verschiedenen Methoden ausführt. Es würde zu weit führen, im einzelnen darauf einzugehen, daß die verschiedenen Einzelmessungen, die zur Durchführung des Anschlusses der Masseneinheit an die Längeneinheit notwendig sind, nach dem heutigen Stand unserer experimentellen Erfahrung mit solcher Genauigkeit sich ausführen lassen, daß man die theoretisch erforderliche Sicherheit erreichen könnte. Man hat auf diesem Wege dann die Möglichkeit, die Masseneinheit mit ausreichender Genauigkeit, wie oben auseinandergesetzt, auf die Längeneinheit zu beziehen, und so, ebenfalls auf Lichtwellen umgerechnet, festzulegen.

Die Masseneinheit auf einem grundsätzlich anderen Weg definieren zu wollen ist zur Zeit noch vollkommen aussichtslos. Etwas anderes wäre es, dabei zu erwägen den jetzt bestehenden Unterschied der Größen von Kubikdezimeter und Liter im Betrage von 28×10^{-6}[1]) vollkommen zu beseitigen.

Referate.

„Compensated" and „Constant" Spirit Levels.

Von S. Weston (E. R. Watts and Co., London). *Trans. Opt. Soc. XXIV. (1922/23) Nr. 1. S. 52.*

Die Anwendung gewöhnlicher Libellen an Vermessungsinstrumenten im Freien ist wegen der Änderung der Blasenlänge mit der Temperatur um so mißlicher, je exzessiver das Klima des Gebrauchsorts ist. In Canada z. B., wo Schwankungen der Lufttemperatur von 150° F (= über 80° C) vorkommen, ist die Verwendung gewöhnlicher Libellen merklich beschränkt. Die schon lange in Verwendung befindliche Kammerlibelle war ein guter Schritt zur Abhilfe, ist aber recht umständlich zu handhaben, wenn sie an einem ziemlich schweren Feldinstrument fest angebracht ist; an einer Kammerlibelle, der z. B. morgens eine geeignete Länge der Blase gegeben wurde, ist im Lauf eines Tags diese Länge mehrfach anders zu richten, und der Verfasser führt noch andere Unbequemlichkeiten der Kammerlibelle an. Deshalb hat er, mit andern, im *„Spirit Level Department"* der Werkstätte für Vermessungsinstrumente E. R. Watts u. Co. seit längerer Zeit Versuche angestellt zur Schaffung einer Libelle, deren Blasenlänge unabhängig von der Temperatur der Libelle sein sollte. Mitte Dezember 1922 konnte er als Ergebnis zwei Modelle solcher Libellen in der Optical Society vorlegen (beide patentiert); die erste, die „kompensierte" Libelle, ist äußerlich von der gewöhnlichen zylindrischen Form, enthält aber im Innern ein zweites Glasrohr derart eingesetzt, daß zwischen diesem innern Rohr und der Libellenblase nur eine ganz dünne Schicht von Äther sich befindet. Es zeigte sich, daß man damit in dem Temperaturraum von 0° bis 145° F. sehr nahezu konstante Länge der Blase erreichen kann (Ausdehnung oder Zusammenziehung der Blase nicht über 0,2 inch = 5 mm), während 150° F = rund + 65° C „einen kritischen Punkt im Leben einer gewöhnlichen Libelle vorstellt; über ihn hinaus können wenige gewöhnliche Libellen erhitzt werden, ohne zu zerspringen, was in Indien häufig genug vorkommt".

Das zweite Modell wird als „Libelle mit konstanter Blase" bezeichnet; hier fehlt das innere Rohr, dagegen ist der Querschnitt des Libellenglases nicht kreisförmig. Die Temperatur der Libelle kann hier auf den Siedepunkt des Wassers gebracht werden (über 200° F), ohne daß die Länge der Blase sich ändern würde. Jede dieser „konstanten Blasen"-Libellen von Watts wird mit fortlaufender Nummer und nach Untersuchung im *Nat. Physic. Labor.* mit der Bezeichnung N. P. L. versehen. Die Prüfungszeugnisse zeigen für 160° F Temperaturänderung (rund 90° C) Änderungen der Länge der Blase, die durchschnittlich nur $^1/_2$ mm betragen. Man kann sich also,

[1]) Vgl. z. B. K. Scheel, Metronomie, *S. 159.*


Digitized by Google

wenn eine solche Libelle nicht einspielend, sondern mit Ablesung der Blasenenden gebraucht werden soll, mit der Ablesung am einen Ende der Blase begnügen, was oft erwünscht ist. Die zwei im Original beigegebenen Figuren zeigen das in der Tat überraschend befriedigende Verhalten einer „konstanten Blasen"-Libelle. Diese Libelle *C* wurde nebst einer gewöhnlichen Libelle *A* ins Wasserbad gelegt und zwischen beiden ein Thermometer befestigt. Sodann wurde das Wasser im Gefäß erwärmt; Fig. 1 zeigt bei der Thermometerangabe 60° F an der Libelle *A* eine Blasenlänge von rund 13 Teilen der Libellenlängenteilung, bei Erhitzung des Wasserbads auf die Angabe 163° F des Thermometers, also um 103° F = rund 57° C, war aber an *A* die Blasenlänge auf rund $6^1/_2{}^p$ der Teilung zurückgegangen, während an der Blase der Libelle *C* keine merkliche Änderung der Länge eingetreten ist.

Die neuen Libellen haben in England und seinen Nebenländern bereits viel Beachtung gefunden (vgl. dazu auch meine Referate über Aufsätze von Starling und von Connolly über Libellen und über Nivelliere aus den *Trans. Opt. Soc.* in *dieser Zeitschr.*); in Deutschland scheint der Sache noch keine Aufmerksamkeit geschenkt zu werden.

In der Diskussion der Vorzeigung von Weston hat J. Guild angeregt, ob bei der „kompensierten Libelle" das innere Rohr nicht besser aus Metall statt aus Glas zu machen sei; ferner hat Major Henrici (wohl einer der erfahrensten Männer mit Nivellieren in den verschiedensten Klimaten) bei einigen ersten Probestücken der neuen Libelle beobachtet, daß die Bewegung der Blase träger war, als in den gewöhnlichen Libellen, gibt aber die Besserung bei den neuern Exemplaren zu (wie auch Weston selbst die Überwindung dieses Mangels betont) und begrüßt die Erfindung als einen „für viele Zwecke bemerkenswerten Fortschritt". *Hammer.*

Levels and level bubbles.

Von S. G. Starling, *Trans. Opt. Soc. XXIV. S. 261. 1922/23.*

Im ersten Teil dieser umfangreichen Abhandlung über Röhrenlibellen sind für die Füllflüssigkeiten Benzol, Xylol, Chloroform, Alkohol und Äther die Zahlenergebnisse von Versuchen über ihre physikalischen Eigenschaften: Dichte, Oberflächenspannung und Viskosität mitgeteilt. Die gegenwärtig am häufigsten gebrauchte solche Flüssigkeit ist bekanntlich bei 40° bis 50° destillierter Petroleumäther und der zweite Teil gibt die entsprechenden Versuchszahlen. Im dritten Teil werden die Veränderungen der Libellenblasenlänge mit der Temperatur der Libelle bei der gewöhnlichen zylindrischen Form des Rohrs untersucht, im vierten die Beziehungen zwischen der Blasenlänge und der Dämpfung ihrer Beweglichkeit, im fünften die zwischen der Dämpfung und dem Durchmesser des Libellenrohrs.

Der sechste Teil behandelt die Untersuchung der Teilwerte von sechs für die Versuche besonders hergestellten Libellen (ganze Teilungslänge 40 Teile = 104 mm, in Wirklichkeit bei den 6 Stück zwischen 102,8 und 104,4 mm schwankend) mit der „nominellen Empfindlichkeit 20''" auf den Strich von 2,6 mm Länge, mit Hilfe eines gewöhnlichen Niveauprüfers. Die Libellen sind von E. R. Watts and Son, London, hergestellt, gegenwärtig wohl die bekanntesten Verfertiger von Libellen und Nivellieren in England. Nähere Angaben über den Niveauprüfer (Schraube und Ganghöhe und damit Empfindlichkeit des Prüfers selbst; Konstanz dieser „Konstanten" gemäß Schraubenfehlern usf.) werden nicht gemacht.

Die Neigung des Legebretts wurde jeweils um 10'' verändert und jedesmal die Stellung der Enden der Blase gegen die Teilung bei Zehntelschätzung mit freiem Auge abgelesen; so wurde allmählich die Libellenblase durch die ganze Teilung hin und zurück geführt, um die Variationen des Krümmungshalbmessers zu ermitteln. Als mittlere Schliffhalbmesser ergeben sich Werte zwischen 19,3 und 29,8 m, oder mittlere Teilwerte der sechs Libellen zwischen 27'',7 und 18'',3 auf den 2,6-mm-Teilstrich. Die Leistung einer Libelle ist nun bekanntlich einmal von ihrem mittleren Teilwert und sodann von der Konstanz dieses Teilwerts auf die ganze Länge der Teilung abhängig, d. h. also von der Konstanz des Schliffhalbmessers an den verschiedenen Stellen der Teilung; und so ist (so nahe die Frage liegt, weshalb überhaupt nur Libellen von verhältnismäßig so geringer Empfindlichkeit untersucht wurden) vor allem von Interesse die Diskussion der Unregelmäßigkeiten des Libellenschliffs. Um die Ermüdung der Augen beim Ablesen an den Blasenenden als Fehlerquelle auszuschalten, hat der Verf. eine photographisch registrierende Methode der


Digitized by Google

Blasenstellung erdacht, die die Nachrechnung der Aufzeichnungen zu gelegener Zeit ermöglicht; sie ist im siebenten Abschnitt dargestellt. Im ganzen sind die Ausschleifungen der untersuchten Libellen befriedigend; von besonderem Interesse sind aber die Figuren 17 und 19, die sich auf eine Libelle mit einem bedeutenden Fehler beziehen. Der Verfertiger würde diese Libelle natürlich selbst verwerfen. Die Libellenblase bleibt nämlich an einer ganz bestimmten Stelle hängen und zwar dann, wenn das bei der Bewegung vorausgehende Ende der Blase den Strich 25 der Teilung erreicht. Nach Überwindung der Stelle ist die Bewegung der Blase normal. Um den Grund der Störung zu erkennen, wurde durch Temperaturänderung der Libelle der Blase verschiedene Länge gegeben und die Bewegung der Blase durch die ganze Teilungslänge wiederholt; jedesmal zeigte sich das Hängenbleiben der Blase, sobald das vorausgehende Ende den Strich 25 erreichte. Bei der Prüfung der Röhre mit einer Lupe wurde *„a minute piece of foreign matter adhering to the glass“* sichtbar.

Der achte Abschnitt behandelt die von den Herren Watts hergestellten Libellen, deren Blasenlängen bei verschiedenen Temperaturen konstant bleiben (ohne daß es sich selbstverständlich um eine Kammerlibelle handeln würde), vgl. *Trans. Opt. Soc. XXIV. S. 52. 1922/23* und das unmittelbar vorhergehende Referat. Das gewünschte Ergebnis kann dadurch erreicht werden, daß das Libellenrohr nicht den gewöhnlichen runden, sondern elliptischen Querschnitt erhält. Von drei Wattsschen Libellen dieser Art zeigte die eine noch die bei rundem Libellenrohr normale Verkürzung der Libellenblase bei steigender Temperatur, die zweite dagegen Verlängerung (sie war also „überkompensiert“), bei der dritten endlich aber war bei ziemlich verschiedenen Temperaturen die Blasenlänge sehr nahe konstant.

Die ganze Arbeit von Starling ist zweifellos ein wichtiger Beitrag zur Kenntnis des *„hysteresis loop“* der Libellen, die ein Franzose vor 20 Jahren das launischste aller Instrumentenelemente genannt hat. Vielleicht hat die oben angedeutete Beschränkung der Untersuchung auf wenig empfindliche Libellen ihren Grund in der Voraussetzung, die Prof. Pollard in der Diskussion der Starlingschen Arbeit aussprach, daß *„the more sensitive an instrument the greater the variancy“* und daß man deshalb *„highly suspicious of sensitive instruments“* zu sein Grund habe.

Dies sollte jedoch nicht davon abhalten, auch feinere Libellen (mit Schliffhalbmessern von 50 bis 200 m) neuerer Herstellung etwa in der Art des Verfassers weiter zu untersuchen, besonders auf ihr thermisches Verhalten, Abhängigkeit des Teilwerts von der Temperatur und von dem Luftdruck, auf Schliffunregelmäßigkeiten u. v. a. *Hammer.*

Über die Grenze der Genauigkeit optischer Messungen.

Von A. A. Michelson. *Journ. of the Opt. Soc. of America 8. S. 321, 1924.*

Der Verf. führt einleitend folgendes an. Jede genaue Messung der Lage des Bildes einer kleinen Lichtquelle wie eines Nadelloches oder eines schmalen Spaltes, oder einer auf Glas oder Metall geritzten Linie wird ausgeführt dadurch, daß man das Fadenkreuz eines Mikrometers in Koinzidenz mit dem Bilde bringt. Auch benutzt man zuweilen zwei parallele Fäden, in deren Mitte das Bild eingestellt werden soll. Für beide Fälle gilt folgendes. Wenn β der Winkel ist, unter dem das Bild erscheint oder der Abstand der beiden Fäden voneinander und $d\beta$ der mittlere Fehler der Einstellung, so ergibt sich aus dem Versuch

$$d\beta = b + c\beta.$$

Die Konstanten b und c sind individuell und auch bei demselben Beobachter je nach dem Ermüdungszustand verschieden. Der Verf. bestimmte für sich $b = \pm 5''$ und $c = 0{,}0025$.

Die größte Schwierigkeit bei derartigen Beobachtungen liegt in der Konstanterhaltung des Beugungsbildes, auf welches eingestellt wird. Es ist häufig leicht unsymmetrisch, das Einstellungsergebnis wird dadurch unsicher. Wichtiger aber noch ist die Ermüdung des Beobachters während einer Beobachtungsreihe, welche Einzelabweichungen hervorruft, deren Fehler das Mittel weit überschreiten.

Der Verf. wendet nun die gegebene Formel auf Fernrohr und Mikroskop an und zeigt durch Zusammenstellung von Beobachtungsresultaten, daß die Genauigkeit der Einstellung mit der Vergrößerung erheblich zunimmt. Er berechnet für den Refraktor auf Mount Wilson mit einer Brenn-


Digitized by Google

weite von 100 Zoll, daß die Vergrößerung 60000 betragen müßte, um den höchstmöglichen Grad der Genauigkeit der Einstellung zu erreichen. Eine solche Vergrößerung ist natürlich nicht anwendbar, weil bei ihr sowohl die Lichtstärke als das Gesichtsfeld zu klein werden, auch es schwer ist, die Einstellung dauernd zu erhalten. Daß bei Beobachtung mit dem Fernrohr die infolge von Luftströmungen eintretenden Schwankungen des Bildes sehr störend auf die erreichbare Genauigkeit einwirken, ist selbstverständlich. *H. Krüss.*

Ein Sechs-Prismen-Glas-Spektrograph und ein neutraler Keil.

Von John Stewart Foster. *Journ. of the Opt. Soc. of America 8. S. 373. 1924.*

Der Verf. konstruierte seinen Spektrographen zum Zwecke des Studiums des Stark-Effektes. Er führt einleitend aus, daß dazu verschieden starke Dispersionen erforderlich sind. Eine große Dispersion, welche für die Beobachtung mancher feiner roter, gelber und grüner Linien erforderlich wird, ist nicht immer nützlich für die Untersuchungen im violetten Teile des Spektrums, wo manche Linien sehr schwach sind und durch hohe Dispersion die Komponenten mancher Linien derart verwaschen werden können, daß sie auf der photographischen Platte nicht in die Erscheinung treten. Man muß also je nach Bedarf eine verschieden große Anzahl von Prismen anwenden.

Der Verf. benutzte sechs Flintglasprismen von je 60° brechendem Winkel und 60 mm Öffnung. Diese können auf einem eisernen Tisch von 25 cm Durchmesser aufgestellt werden. Wie es scheint, werden sie ohne Benutzung eines Mechanismus mit der Hand in das Minimum der Ablenkung gebracht.

Kollimator- und Kamerarohr sind mit Objektiven von 7,6 cm Öffnung und 115 cm Brennweite versehen. Ein schweres eisernes Gestell trägt Kollimator und Prismentisch, ein zweites den Kameraansatz. In diesem ist das Objektiv mit Zahnstange und Trieb zum Einstellen versehen. Durch einen konischen Ansatz ist die Kassette mit dem Rohr verbunden. Die Plattengröße ist 3×20 cm². Die Kassette kann an einer Teilung in der Höhe verstellt werden, um mehrere Spektrumaufnahmen untereinander bewirken zu können, außerdem ist sie um eine in ihrer Verlängerung in der Mitte der Platte durch die Schicht gehende Achse drehbar, um die günstigste Neigung der Platte gegen den Strahlenfächer herbeiführen zu können.

So weit bietet die Konstruktion eigentlich nichts besonders Neues. Vielleicht würde man noch etwas mehr ersehen können, wenn die beigegebene Abbildung des ganzen Instrumentes — eine Autotypie — besser wäre.

Eigenartig ist die Lichtschutzkapsel, die für die Benutzung verschiedener Anzahl von Prismen eingerichtet ist. Ein dicker Ring aus gut getrocknetem Holz ruht auf dem Prismentisch, ein ebensolcher bildet den oberen Rand des Gehäuses. In jedem der Ringe ist eine 1,5 cm breite Rille angebracht und in diese werden, die Wände des Gehäuses bildend, schmale Streifen aus Mahagoniholz eingesetzt, ebenso besondere Stücke, welche durch Balgansätze mit dem Kollimatorrohr, bzw. dem Kamerarohr verbunden werden können. Das Verbindungsstück für das Kamerarohr kann je nach der Zahl der jeweils benutzten Prismen vor die betreffende Stelle des Umfanges des Gehäuses gebracht werden. Ein Holzdeckel schließt das Gehäuse nach oben ab.

Der vom Verf. beschriebene neutrale Keil hat mit den Spektrographen an sich nichts zu tun. Er besteht aus dunklem grün-blauem Glase, hat einen Winkel von 8°, eine Länge von 7 mm und ist mit einem Klarglaskeil von demselben Winkel zu einer planparallelen Platte verkittet. Er soll nach Angabe des Verf. zwischen 4700 und 4900 A nahezu neutral sein und eine Durchlässigkeit von 0,65 in diesem Bezirke besitzen. *H. Krüss.*

Untersuchung eines astrophotographischen Objektivs durch die Methode des extrafokalen Bildes.

Von G. Demetrescu, *Revue d'Optique.* **2.** *S. 493. 1923.*

Der Verfasser untersucht das astrophotographische Objektiv der Sternwarte in Bukarest. Dasselbe hat einen Durchmesser von 38 cm und eine Brennweite von 6 m. Es wurde von der Firma S. Merz in München hergestellt und im Juni 1914 geliefert und zwar zur Untersuchung an die Sternwarte in Brüssel, wo es von Delvosal geprüft und gut befunden wurde. Infolge des



Krieges ist es erst im Jahre 1919 nach Bukarest gelangt. Ebenso wie in Brüssel wurde es auch hier nach der Hartmannschen Methode[1]) geprüft, beide Untersuchungen lieferten im großen übereinstimmende Ergebnisse.

Der jetzigen Veröffentlichung ging eine frühere voraus über eine Untersuchung eines Objektives des Observatoriums in Paris, wobei er dieselbe Methode anwandte.

Die vor das Objektiv zum Zwecke der Prüfung der einzelnen Teile seiner Oberfläche angebrachte Blende enthielt 69 runde Öffnungen von je 14 mm Durchmesser. Sie waren in horizontalen und senkrechten Reihen von je 44 mm Abstand voneinander angeordnet. Die extrafokalen Aufnahmen von 21 Minuten wurden mit dem Bilde des Sternes ε des Großen Bären gemacht und dabei das Fernrohr stets so gerichtet, daß das Bild des Sternes im Brennpunkt verblieb, so daß immer der Achsenstrahl wirksam war. Der Verf. brachte vor der photographischen Platte, und zwar im Kontakt mit derselben, ein Farbfilter an, welches seine größte Durchlässigkeit bei $\lambda = 405\ \mu\mu$ hatte. Es bestand aus einer planparallelen Glasplatte von 1,8 mm Dicke, welche mit einer durch Methylviolett gefärbten Gelatinschicht übergossen war.

Die Berechnung der Zonenfehler des untersuchten Objektivs geschah nach der Hartmannschen Methode. Es wurde also die Brennweite und der Astigmatismus jeder Zone insbesondere bestimmt durch die Berücksichtigung der Lichtbündel, welche durch zwei Paare der Öffnungen der vorgesetzten Blende gegangen waren, die symmetrisch in bezug auf den Mittelpunkt und in zwei Azimuten lagen, die um 90° voneinander entfernt sind.

Aus der Untersuchung des Objektivs ergab sich, wie auch eine beigegebene Figur zeigt, daß der Astigmatismus sehr gleichmäßig ist und eine sehr geringe Größe hat. Hartmann bezeichnet eine gewisse Größe T als Charakteristikum für die Zonenfehler. Ist T kleiner als 0,5, so ist das Objektiv nach Hartmanns Auffassung sehr gut. Bei dem untersuchten Bukarester Objektiv von Merz ergab sich diese Größe zu 0,24.

Der Verf. gibt dann noch eine vergleichende Übersicht der Zonenfehler des von ihm untersuchten Objektives, des Objektives von Clark auf der Yerkes-Sternwarte (Durchmesser 1 m, Brennweite 19,35 m), des Objektives von Brashear in Ottawa (Durchmesser 38 cm, Brennweite 8,7 m), des Merzschen Objektives in Straßburg (Öffnung 49 cm, Brennweite 6,93 m) und des Objektives von Henry in Paris (Durchmesser 33 cm, Brennweite 3,43 m). Wenn die hier gegebenen Kurven auch nicht durchweg streng vergleichbar sind, da die Anordnungen der Versuche nicht übereinstimmten, so ist doch ersichtlich, daß das Bukarester Objektiv eine beachtenswerte Güte besitzt. Es ist an einem vorzüglichen Äquatoreal angebracht und könnte gute Dienste leisten, wenn nicht, was der Verf. bedauert, die rumänische Regierung die Sternwarte in sehr beklagenswerter Weise vernachlässigte. *H. Krüss.*

Methode zur Messung der Brechungsverhältnisse großer Glasscheiben.

Von J. Barot. *Revue d'Optique* **2.** *S. 502. 1923.*

Um eine sichere Grundlage für die Berechnung eines großen Objektives zu haben und sich nicht verlassen zu müssen auf Bestimmung der optischen Konstanten an einem kleinen Probeprisma, ist es erwünscht die Brechungsverhältnisse der zu benutzenden großen Glasscheiben selbst zu messen. Wegen ihrer Größe und ihres Gewichtes können diese große Scheiben aber nicht auf ein gewöhnliches Goniometer gebracht werden. Der Verf. benutzt deshalb ein Differentialverfahren, indem er sowohl zur Bestimmung des brechenden Winkels, der in Größe von ungefähr 60° durch zwei am Rande der Scheibe angeschliffene Flächen gebildet wird, als auch zur Bestimmung der Minimalablenkung, woraus der Brechungsindex berechnet wird, ein kleines Vergleichsprisma von 60° aus derselben oder nahezu derselben Schmelze benutzt.

Die große Glasplatte wird auf einen mit Stellschrauben versehenen Untersatz gelegt und auf sie das kleine Prisma gestellt, so daß seine Seitenflächen annähernd parallel zu den an den Rand der Glasscheibe angebrachten Flächen sind. Die Oberfläche der Glasscheibe wird in eine solche Höhe gebracht, daß sie in der Achse des Beobachtungsfernrohres liegt. Dann wird in die untere

[1]) *Diese Zeitschr.* **20.** *S. 51. 1900.*


Digitized by Google

Hälfte des Objektivs dieses Beobachtungsfernrohres Licht von der großen Glasscheibe, in die obere solches von dem kleinen Vergleichsprisma fallen.

Der brechende Winkel und die Ablenkung des Vergleichsprismas für Strahlen verschiedener Wellenlänge wird vorher auf die übliche Weise genau bestimmt.

Zur Bestimmung des Brechungswinkels wird vor die Glasscheibe ein gewöhnliches Goniometer gestellt und zwar so, daß zunächst die Achse des Beobachtungsfernrohres des Goniometers senkrecht auf die eine angeschliffene Fläche des Glasrandes gerichtet ist. Dann erscheint durch Autokollimation das Bild des Fadenkreuzes im Fernrohr, ebenso auch in nicht weiter Entfernung davon das durch Spiegelung an dem Vergleichsprisma entstehende Bild des Fadenkreuzes. Der Winkelunterschied zwischen diesen beiden Bildern wird mittelst des Goniometers gemessen. Ebenso wird mit der zweiten Fläche verfahren. Aus den beiden Differenzen zusammen mit dem bekannten brechenden Winkel des Vergleichsprismas ergibt sich der Winkel der beiden an dem Rand der Glasscheibe angebrachten Flächen.

Zur Bestimmung des Brechungsexponenten der Glasscheibe verfährt der Verfasser in ähnlicher Weise. Ein Kollimatorrohr mit Spalt und ein Beobachtungsrohr sind so weit voneinander aufgestellt, daß die Glasscheibe mit dem darauf gestellten Vergleichsprisma zwischen ihnen Platz hat. Durch Drehen der Glasscheibe sowie des kleinen Prismas wird das Minimum der Ablenkung für die zu messende Linie herbeigeführt und nun mittelst eines am Fernrohre angebrachten Okularmikrometers der Winkelunterschied zwischen dem durch die Glasscheibe erzeugten Spaltbilde und dem durch das Vergleichsprisma entstandenen festgestellt.

Der Verf. bemerkt noch, daß wenn die Genauigkeit der Messungen $\pm 5''$ betrage, der Irrtum in der Bestimmung des Brechungsexponenten im Maximum $\pm 0{,}00009$ sei. *H. Krüss.*

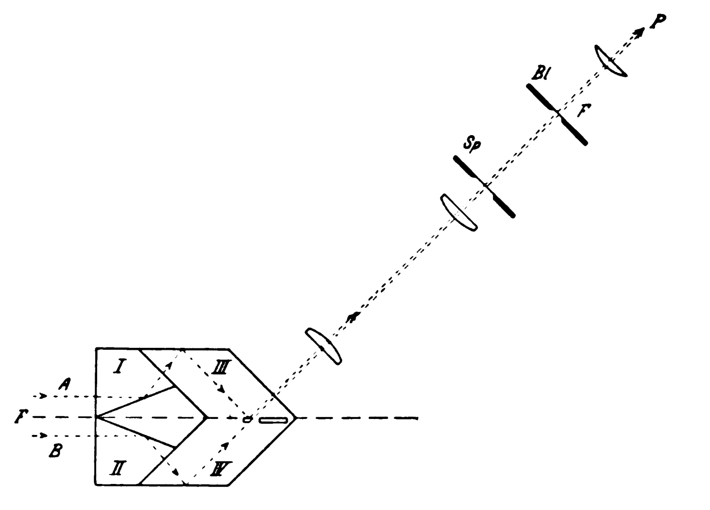
Ein einfaches Instrument für photometrische Zwecke.

Von **Ernst Lehmann.** *Centralztg. f. Opt. u. Mech.* **45.** *S. 52. 1924.*

Bei dem vom Verf. beschriebenen Instrument handelt es sich um ein Spektrophotometer, welches zunächst dafür bestimmt sein sollte, die spektrale Lichtdurchlässigkeit gefärbter Gläser zu bestimmen, ebenso sich aber auch sehr wohl für ähnliche spektrophotometrische Zwecke verwenden läßt.

Ein jedes Spektroskop wird in ein Spektrophotometer verwandelt durch Herstellung zweier voneinander getrennter Lichtwege durch den Apparat, einer Vergleichsfläche in welcher die durch die beiden Strahlengänge erleuchteten Flächen möglichst unmittelbar aneinander grenzen, und einer Vorrichtnng zur meßbaren Schwächung der Lichtstärke des helleren Feldes.

Nach Vierordt sind diese drei Vorrichtungen in einem und demselben Bestandteil seines Spektrophotometers vereinigt in dem von ihm erdachten Doppelspalt. Der Eintrittsspalt des Spektralapparates ist in zwei unmittelbar aneinander stoßende Teile, eine obere und eine untere Hälfte geteilt, deren Breite durch je eine Mikrometerschraube meßbar verändert werden kann. So bilden die beiden Spalthälften die Ursache für die zwei getrennt verlaufenden Strahlenbündel, das Bild der beiden Spalthälften im Beobachtungsfernrohr ist die photometrische Vergleichsfläche und die Spaltbreite jeder Hälfte das Maß der durch sie in den Apparat eingelassenen Lichtmenge.



Der Verf. benutzt nun einen einfachen Spalt, schaltet aber die Mitte desselben in einer Breite gleich dem halben Durchmesser des Kollimatorrohres aus, so daß ein oberer


Digitized by Google

und ein unterer Teil des Spaltes wirksam bleiben. Eine ähnliche Einrichtung besitzt der Spalt bei dem Glanschen Spektrophotometer.

Zur Schaffung der photometrischen Vergleichsfläche benutzt der Verf. ein System von Prismen (s. Fig.), welches so weit in den Okularstutzen geschoben wird, daß das Bild der beiden Spektren, deren Fortpflanzungsrichtung durch die punktierten Linien A und B angedeutet ist, nahe an den Eintrittsflächen der Prismen I und II liegt. Durch diese Prismen werden die Strahlen A um 135° nach oben, die Strahlen B um ebensoviel nach unten abgelenkt und dann durch Reflexion an den äußeren Flächen der Prismen III und IV unter einen Auffallswinkel von 45° auf die in der optischen Achse FF des Beobachtungsrohres liegende Berührungsfläche der beiden Prismen hingelenkt. Diese Fläche ist die photometrische Vergleichsfläche. Sie ist nach dem Vorgang von Lummer und Brodhun mit durchlassenden und reflektierenden Teilen versehen. Der Verf. hat mehrere Streifen auf derselben angebracht.

Die beiden von A und B kommenden Strahlenbündel verlassen in gemeinsamer Richtung das Prismensystem. Zwei in den Strahlengang eingeschaltete Linsen bewirken, daß bei Sp ein Bild des Spektrums entsteht, bei Bl dasjenige der photometrischen Vergleichsfläche. Während letzteres durch die Augenlinse beobachtet wird, kann an die Stelle Sp eine Blende eingeschoben werden, durch welche ein schmaler Bezirk der Spektren ausgeblendet werden kann.

Über die Art der photometrischen Messung selbst sagt der Verf. nur, daß das von Lummer und Brodhun in die Spektralphotometrie eingeführte rotierende Flügelrad von ihm beibehalten sei.

M. Krüss.

Thermal-Conductivity method for the analysis of gases.

Von P. E. Palmer und E. R. Weaver. *Technol. Pap. of the Bur. of stand. Nr. 249. Washington 1924.*

Zur Analyse von Gasgemischen ist die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit, die sich für verschiedene Gase in weiten Grenzen bewegt, besonders geeignet und wiederholt mit Erfolg benutzt worden z. B. von Koepsel, Siemens und Halske und anderen. Die Verfasser verwenden gleichfalls diese Methode, die auf den einfachen Vergleich zweier elektrischer Widerstände hinausläuft.

In einer Metallkammer, deren Wandungen auf konstanter Temperatur gehalten werden, befindet sich ausgespannt und von einem Gas umgeben ein stromdurchflossener Draht. Bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, der erreicht ist, wenn die durch das Gas abfließende Wärme gleich der durch den elektrischen Strom erzeugten ist. Durch geeignete Versuchsanordnung können Wärmeverluste, wie durch Strahlung, Konvektion oder Ableitung durch den Draht, unschwer auf bedeutungslose Reste herabgedrückt werden, sodaß die Temperatur bei erreichtem Gleichgewichtszustand und gegebenem Strom ausschließlich von der Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Gases abhängt. Wenn der Draht einen hohen Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstandes besitzt, wird dieser Widerstand der Wärmeleitfähigkeit, also der Zusammensetzung des umgebenden Gases entsprechen. Durch Vergleich der Widerstände (Wheatstonesche Brückenschaltung) zweier gleicher und von demselben Strom durchflossener Drähte, die von einem Vergleichsgase bzw. einem Gemisch zweier Gase, dessen Bestandteile qualitativ bekannt sind, kann dann das Mengenverhältnis schnell und doch sicher bestimmt werden, nachdem eine empirische Eichung vorangegangen ist. Es handelt sich also hier nicht um eine absolute Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit, sondern um einen leicht auszuführenden Vergleich. Das Verdienst der Arbeit liegt in der weiteren Ausbildung von für verschiedene praktische Zwecke geeigneten, teils automatisch funktionierenden Apparaten und Instrumenten.

Wr.


Digitized by Google

Bücherbesprechungen.

Dr. phil. Friedrich Nolte, Die Armillarsphäre. Abhandlungen zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Medizin, Heft II. Erlangen 1922.

Dr. phil. Josef Frank, Die Verwendung des Astrolabs nach al Chwârizmî. Abh. z. Gesch. d. Nat. u. d. Med., Heft III. Erlangen 1922.

Dr. Heinrich Suter, Beiträge zur Geschichte der Mathematik bei den Griechen und Arabern. Herausgegeben von Dr. phil. Josef Frank. Abh. z. Gesch. d. Nat. u. d. Med., Heft IV. Erlangen 1922.

Erlangen ist gegenwärtig der Mittelpunkt der Forschungen zur Geschichte der Naturwissenschaften bei den Arabern. Prof. Wiedemann und seinen Schülern verdankt die Wissenschaft viele Beiträge zur Erkenntnis der naturwissenschaftlichen Bestrebungen dieser Völker. Von den in Erlangen herausgegebenen Abhandlungen zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Medizin enthalten die Hefte II und III Arbeiten des Erlanger Kreises, während frühere Arbeiten in verschiedenen Zeitschriften, besonders in den Sitzungsberichten der physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen erschienen sind.

In Heft II versucht Verf. eine Geschichte der Armillarsphäre, des aus Ringen bestehenden Gerätes für Beobachtungs- und Lehrzwecke, zu geben. Dieser Versuch konnte nicht glücken. Die Geschichte der Entwicklung eines Gerätes zu geben, wird so lange unmöglich sein, als das abendländische Mittelalter und die noch vorhandenen Geräte unberücksichtigt bleiben. Die Nichtberücksichtigung des abendländischen Mittelalters ist deshalb verhängnisvoll, als damit die Leistungen der jüdischen Wissenschaft einerseits und andererseits die tastenden Versuche der für die Folgezeit maßgebenden Germanen übergangen werden. Und was die Nichtbeachtung der zahlreich vorhandenen Geräte anlangt, so kann erst die eingehende Untersuchung dieser Geräte lehren, welchem Zwecke sie dienen sollten und ob sie diesen Zweck auch erfüllen konnten. Es wird notwendig sein, das Ergebnis dieser Untersuchungen über die uns überlieferten Beschreibungen zu stellen; denn es läßt sich die Befürchtung nicht von der Hand weisen, daß andere Völker weniger wahrheitsliebend als die Germanen sind. Diese Empfindung scheint auch Verf. gehabt zu haben, wenn er bezweifelt (*S. 25*), daß die Araber eine Feinteilung von $^1/_3{}'$, entsprechend 50 Teilstrichen auf 1 cm, besaßen. Auch sonst scheinen Zweifel an den Vorzügen der arabischen Geräte berechtigt, wenn man bedenkt, daß in den 800 Jahren der Blüte der morgenländischen Kultur nicht ein einziges Sternverzeichnis entstanden ist, welches das des Ptolemaios übertraf oder sich mit dem des Brahe nur vergleichen konnte. Und die Auffindung des angeblichen Vor- und Rückwärtsrückens der Tag- und Nachtgleichen durch Tâbit b. Qorra läßt auch nicht auf große Beobachtungsgenauigkeit schließen.

In der vorliegenden Arbeit schildert Verf. die verschiedenen Arten der Armillarsphäre und ihre Verwendung bei den Alexandrinern, im Morgenlande und zuletzt im Abendlande, seit der Zeit des Johann von Königsberg (Regiomontanus). In der alexandrinischen Zeit wird das Gerät besonders von Ptolemaios verwendet, der es ausführlich beschreibt und zur Herstellung seines Sternverzeichnisses benützt. Es hätte nun nahe gelegen, die Verwendbarkeit seines Gerätes auf Grund des Sternverzeichnisses, besonders in der Neubearbeitung von Knobel, nachzuprüfen. Leider hat Verf. dies unterlassen. Außer Ptolemaios verdient Theon von Alexandrien Erwähnung, da wohl von ihm eine Gebrauchsanweisung herrührt. Darin ist beachtenswert die Verwendung von Wasseruhren zur Verfolgung des scheinbaren Laufes der Sterne am Himmel.

Bei den Arabern wurden die schon Ptolemaios bekannten verschiedenen Arten beibehalten. Ob das Gerät des Gâbir b. Aflah und das Türkengerät (*Torquetum*) sich aus der Armillarsphäre ableiten lassen, erscheint doch recht zweifelhaft. Das Türkengerät ist von Frank in Paris im Jahre 1284 erfunden worden. Wie weit dabei arabische Vorbilder mitwirkten, läßt sich noch nicht angeben. Auch den Azimutalquadranten von der Armillarsphäre abzuleiten, erscheint bedenklich. Warum Zusammenhänge vermuten, wo wir fast nichts wissen? — Wichtiger als diese Vermutungen sind die Übersetzungen arabischer Berichte über die Herstellung und Verwendung der Armillarsphäre. Beachtenswert ist die Lagerung der verschiedenen Ringe ineinander und die Versuche,


Digitized by Google

die Geräte möglichst gefügig zu machen. Besonders in dem das arabische Wissen umfassenden Sammelwerke des Alfons X. von Kastilien wird ihre Herstellung eingehend beschrieben. Auf Grund unserer bisherigen Kenntnis können wir feststellen, daß die Kreisteilung bei den arabischen Geräten, abgesehen von dem einen oben erwähnten Falle, nicht weiter als bei Ptolemaios ging, nämlich bis zu 10′. Um eine größere Ablesegenauigkeit zu erreichen, bauten die Araber auch größere Geräte, aber anscheinend ohne damit mehr zu erreichen.

Über das abendländische Mittelalter wird uns nichts berichtet. Und doch war man dort nicht untätig. Seit der Zeit Karls des Großen waren Abarten der Armillarsphäre bekannt. Johann Holywood beobachtete damit zu Paris im Jahre 1246 die Sterne. Eine Vereinfachung für Lehrzwecke sind die Lehrgeräte des Gerbert und das Wilhelms von Hirsau (s. meine Abhandlung, *diese Zeitschr.* **43.** *S. 278. 1923*). Am Ende des Mittelalters veranlaßte die Erkenntnis der Fehler der Planetentafeln und ihrer zugrunde liegenden Elemente Johann von Königsberg, auf die Armillarsphäre des Ptolemaios zurückzugreifen und damit Beobachtungen anzustellen. Wilhelm von Hessen und Tycho Brahe ließen bessere Geräte herstellen. Jedoch bald brach sich die Erkenntnis Bahn, daß an Stelle der unhandlichen und wenig sicheren Geräte andere treten müßten. Irgendeine Beeinflussung durch die Lehre des Kopernik läßt sich nicht nachweisen.

In dem 3. Heft beschäftigt sich Verf. mit dem Astrolab bei den Arabern, welches Gerät nicht zu verwechseln ist mit dem Astrolab des Ptolemaios (d. h. der Armillarsphäre) oder mit dem neuzeitlichen Astrolab genannten Scheibenmeßgerät. Zuerst gibt Verf. eine kurze Beschreibung des Gerätes mit seiner Geschichte, dann die Übersetzung der Gebrauchsanweisung des al Chwârizmî, der er zahlreiche Erklärungen beifügt. Solche Übersetzungen und damit erstmalige Veröffentlichungen haben doppelten Wert: einerseits fördern sie unsere Kenntnis der arabischen Sternforschung; andererseits können sie uns dazu dienen, die zahlreichen mittelalterlichen, lateinisch geschriebenen Gebrauchsanweisungen auf ihre Abhängigkeit von der Arbeit des al Chwârizmî zu prüfen.

Bevor auf die Arbeiten Suters eingegangen wird, sollen nur kurz einige den Arbeiten des Erlanger Kreises anhaftende Eigentümlichkeiten erwähnt werden: Öfters wird auf noch nicht erschienene Arbeiten verwiesen. Dies ist besonders unangenehm, wenn, wie unter den jetzigeu Zeitumständen, die Aussicht auf Drucklegung der erwähnten Arbeiten fraglich ist. Dann scheinen die Verfasser die Einführung arabischer Wörter wie tasjîr, muqanṭara und ṭâli' für eine Bereicherung der deutschen Sprache anzusehen. Ganz abgesehen davon, daß nur wenige Deutsche diese Wörter richtig aussprechen können, ist eine solche Verschandelung der deutschen Sprache unbedingt zu vermeiden. Wir sollten uns die Griechen und Araber zum Beispiel nehmen, die ihre wissenschaftliche Sprache fast fremdwortfrei erhielten, obwohl sie viel Wissen von anderen Völkern übernahmen!

Das 4. Heft ist dem Andenken Suters, dem durch seine Arbeiten über die Mathematiker und Astronomen der Araber bekannten Forscher, gewidmet. Es enthält neben seinem Lebenslaufe mehrere noch von ihm vollendete Schriften, zuerst eine kleine Mitteilung über die Beziehungen Kaiser Friedrichs II. zu Gelehrten des Morgen- und Abendlandes. Dann folgt eine Übersetzung der nur arabisch überlieferten Erklärung des Pappus zum 10. Buche des Euklid. Allerdings glaubt Verf. eher Proklus als Pappus als den Urheber der Erklärung ansehen zu müssen. Die folgende Abhandlung ist die Übersetzung einer Schrift des Al-Birûni über das Ebenmachen (Projektion) der Sternbilder und der Länder. Die Schrift ist zum Teil schwer verständlich, da offenbar die arabische Handschrift verdorben ist. Soviel läßt sich ersehen, daß sein Verfahren von einer winkeltreuen Abbildung viel zu wünschen übrig läßt und daß er manche seiner Vorgänger, z. B. Al-Sûfî, nicht verstanden hat. Zum Schluß folgt die Übersetzung des Buches der geometrischen Konstruktionen des Abu'l Wefâ'. Es handelt sich hier um Aufgaben für Zirkel und Maßstab, glänzend in ihrer Erfindung, aber praktisch nicht immer glücklich. Hier scheint sich, wie auch in den Entwürfen von Astrolaben aller Art, ein wesentlicher Zug der Araber zu zeigen: Für jedes Bedürfnis eine Lösung zu entwerfen, ohne aber an die Ausführung zu gehen und damit die nötige Verbesserung des Entwurfes zu erhalten. Neigte die arabische Wissenschaft mehr zur Dichtung als zur Wirklichkeit?

Zinner.


Digitized by Google

H. Kayser und H. Konen, Handbuch der Spektroskopie. VII. Bd. 1. Lief. Gr. 8⁰. X, 498 S. Leipzig, S. Hirzel 1924.

Von dem rühmlichst bekannten Handbuch der Spektroskopie, der Lebensarbeit des Bonner Physikers H. Kayser, erschien jetzt die erste Lieferung des VII. Bandes. Zum ersten Male wird als Mitverfasser H. Konen, der Nachfolger Kaysers auf dem Bonner Lehrstuhl der Physik und sein Mitarbeiter seit vielen Jahren, auf dem Titelblatt angeführt. Schon der Umstand, daß diese umfangreiche Veröffentlichung ohne irgendwelche äußere finanzielle Unterstützung erscheint, legt der wissenschaftlichen Welt gegenüber Verfasser und Verleger die Pflicht auf, auch diesen wichtigen Teil des monumental angelegten Werkes zu beachten und zu erwerben, damit eine weitere Fortsetzung möglich wird. Der vorliegenden Lieferung soll noch eine zweite und eine dritte folgen, um den VII. Band abzuschließen. Da durch vielseitige Schwierigkeiten, wie sie jetzt allen Unternehmungen in Deutschland entgegenstehen, die Drucklegung über Erwarten verzögert wurde, so hat man sich entschlossen, diese erste Lieferung jetzt schon erscheinen zu lassen. Bei der außerordentlich regen Tätigkeit auf spektroskopischem Gebiete war sonst zu befürchten, daß der Inhalt der ersten Bogen veraltet sein würde, wenn die letzten erscheinen. Das Manuskript des ganzen Bandes liegt bereits vor und soll so schnell als der Druck es gestattet erscheinen. Der letzten Lieferung wird dann ein Nachtrag zu den vorher erschienenen beigefügt werden, so daß bei Schluß des Bandes die bis dahin vorliegende Literatur vollständig berücksichtigt ist.

Während das der Spektroskopie dienende Instrumentarium in den ersten Bänden des Handbuches ausführlichste Würdigung erfährt, bildet der VII. Band eine Ergänzung der Bände V und VI, die sich auf die Spektren selbst beziehen. Neu aufgenommen sind jetzt die Röntgenspektren, welche bei Erscheinen der früheren Bände noch nicht bekannt waren.

Die vorliegende Lieferung berichtet über Spektren von Luft, Argon, Silber, Aluminium, Archonium, Arsen, Gold, Barium, Wismut, Brom, Kohlenstoff, Calcium, Cadmium, Cer, Chlor, Cobalt, Chrom, Caesium, Kupfer, Dysprosium, Erbium und Eisen.

Eine unendlich fleißige und mühevolle Arbeit mußte geleistet werden, um das Material zu dem Inhalt zu beschaffen, zu sichten und zu bearbeiten. Dazu eine große Erfahrung auf spektroskopischem Gebiete, wie sie in der Vereinigung der beiden Verfasser vorhanden ist und sich kaum irgendwo wieder findet. Denn es galt doch in den Hunderten von Veröffentlichungen über die zu behandelnden Materie festzustellen, welche Zuverlässigkeit den darin enthaltenen Messungsresultaten beigelegt werden kann, ob und mit welcher Weise sie in den gegebenen Zusammenstellungen aufgenommen werden können. Wenn auch häufig darüber äußere Merkmale Aufschluß geben konnten, wenn z. B. Mittelzahlen, die aus einer Anzahl weit auseinanderliegender Einzelergebnisse gewonnen waren, von vorneherein kein großes Vertrauen verdienen konnten, so bedarf es in den meisten Fällen zur Wertung der Ergebnisse eingehender Erfahrung und Kenntnis in den angewandten Methoden der Erzeugung der Spektren und dabei etwa möglicher störender Nebenumstände. Immer mußte alles vorliegende Material gegeneinander gehalten werden, um dessen richtige Einordnung zu treffen.

Auf Einzelheiten der umfangreichen Veröffentlichung kann, schon weil ihr Schwerpunkt nicht in das Gebiet der Instrumentenkunde fällt, und dann weil sie einen sehr großen Umfang bei der Besprechung einnehmen würden, hier nicht eingegangen werden. Immerhin hat aber auch der Verfertiger spektrographischer Instrumente bei Prüfung derselben durch Versuchsaufnahmen Veranlassung, auf die gegebenen Daten sich zu stützen. Wichtig ist in dieser Beziehung das an erster Stelle abgehandelte Spektrum der Luft, welches man bei allen Aufnahmen von Metallfunkenspektren in Luft als lästige Beigabe mit erhält. Eine Tabelle gibt sämtliche einigermaßen zuverlässig bestimmten Luftlinien mit Angabe ihrer Intensität und ihres chemischen Ursprungs (O, N), soweit er von den Autoren angegeben ist.

Häufig wird das Eisenspektrum als Vergleichsspektrum wegen seiner vielen Linien benutzt. Die Verf. verwenden deshalb auf die Darstellung desselben besondere Sorgfalt. Hier wird der auch dem Praktiker nützliche Hinweis gegeben, daß nach dem Beschluß der Sonnenvereinigung in Bonn 1913 beschlossen wurde, es solle bei Benutzung zur Erzeugung von Normalen der Eisenbogen eine Länge von 6 mm haben, wovon nur der mittelste Teil von 2 mm benutzt werden soll.


Digitized by Google

Die Stromstärke soll dabei für kurze Wellenlängen kleiner als 4000 Å 4 A, für längere 6 A betragen. Wenn auch eine Anzahl der bekannt gewordener Eisenlinien aus bestimmten besonders begründeten Anlässen nicht mit aufgenommen sind, so umfaßt die Tabelle der Eisenlinien doch noch 69 Seiten des Buches.

Wenn man den Inhalt der Veröffentlichung im ganzen auf sich wirken läßt, so denkt man unwillkürlich an das von Leo Frobenius in seiner Kulturkreislehre aufgestellte Theorem, daß nämlich die Kultur vom Menschen unabhängig sein und ein selbständiges organisches Wesen sein solle, das wie die Pflanze entsteht, sich entwickelt, wächst, blüht und wieder vergeht. Solchen Standpunkt muß man angesichts dieses Werkes, wie überhaupt ablehnen. Alfred Lichtwark sagt einmal in seinen vor kurzem veröffentlichten Briefen an die Kunsthallen-Kommission in Hamburg: Es gibt keine Kunst an sich, sondern nur Künstler und Kunstwerke. So gibt es auch keine Wissenschaft an sich, sondern nur Wissenschaftler und ihre wissenschaftlichen Werke. Der Mensch fördert die Kultur, die Kunst und die Wissenschaft. Unter solchen Förderern auf dem Gebiet des Spektroskopie stehen H. Kayser und H. Konen mit ihrem Werk, Handbuch der Spektroskopie, obenan. *H. Krüss.*

O. D. Chwolson, Lehrbuch der Physik. 2. Aufl. 3. Band. 2. Abteilung. Die Lehre von der Wärme. Herausg. von Gerhard Schmidt. VII, 460 S. m. 110 Abbild. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1923.

Während in der ersten Abteilung des dritten Bandes die wichtigsten Erscheinungen der Wärmelehre mit Beschränkung auf einphasige Systeme behandelt sind, beginnt die zweite Abteilung mit einer eingehenderen Darstellung der Grundlagen der Thermodynamik (1. Kapitel), ihrer Anwendung auf die in der ersten Abteilung betrachteten Erscheinungen (2. Kapitel) und verbreitet sich dann in 5 weiteren Kapiteln über die Phasenänderungen und mehrphasigen Systeme.

Gegen die vorige Auflage ist nur das 2. Kapitel etwas stärker umgearbeitet. Hier erscheint insbesondere das Nernstsche Theorem in sehr kurzer, aber trefflich klarer und einfacher Darstellung. Im ganzen ist die bewährte historische Art der Darstellung beibehalten und nur durch Weglassen von Veraltetem gekürzt. Dafür sind die neueren Gesichtspunkte stärker betont und ist die Literatur vervollständigt, allerdings vielfach nicht bis zum letzten Stand und nicht in dem Umfang, den man wünschen möchte. U. a. fehlen die Ergebnisse von Noells Messungen des Thomson-Joule-Effektes aus dem Jahre 1914 und von Wilsons, J. J. Thomsons und Stodolas Untersuchungen der Unterkühlung von Dampf, deren Bedeutung für die Vorgänge in Dampfturbinen man etwa seit 1913 erkannt hat. Überhaupt ist die Vernachlässigung des Wärmetechnischen eine große Schwäche dieser vom rein physikalischen Standpunkt so vortrefflichen Darstellung der Wärmelehre. *Max Jakob.*

Abgekürzte wissenschaftliche Veröffentlichungen des Forschungs-Laboratoriums der Eastman Kodak Company Bd. 6 231 S. 1923.

Wie das Nela-Forschungs-Laboratorium gibt auch das Laboratorium der Eastman Kodak Company in Rochester, New-York von Zeit zu Zeit eine Zusammenfassung der von seinen Mitarbeitern in verschiedenen Zeitschriften veröffentlichen Arbeiten. Ein äußerst verdienstliches Unternehmen. Der vorliegende Band enthält fast ausschließlich Arbeiten über den photographischen Prozeß, so über das Verhalten der Gelatine, die Korngröße des Silbers, Eigenschaften und Wirkung der Entwickler, Empfindlichkeit der photographischen Schicht u. a. m.

Für die Leser dieser Zeitschrift sind vornehmlich zwei Arbeiten von Interesse, nämlich „Astronomische photographische Photometrie und der Purking-Effekt von F. E. Ross. Darüber wurde schon hier nach der Originalveröffentlichung berichtet[1]) und ferner eine Arbeit von L. Cl. Jones, über die besonderer Bericht folgt. *H. Krüss.*

[1]) *Diese Zeitschr.* **44.** *S. 57. 1923.*

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.



. . . ARY
. . . ICH.

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **A. Schmidt** in Cöln a. Rh., **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang.

1924.

9. Heft: September.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1924.

Digitized by Google

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande nur durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Die Berechnung erfolgt heftweise.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei 1/4 1/2 1/1 Seite Umfang 30.— 60.— 120.— Goldmark

Bei 6 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist 10 20 % Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,30 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseingangs. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungsdatum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) nur auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118 935 Julius Springer.



Präzisionsinstrumente

(registrierend und nichtregistrierend)

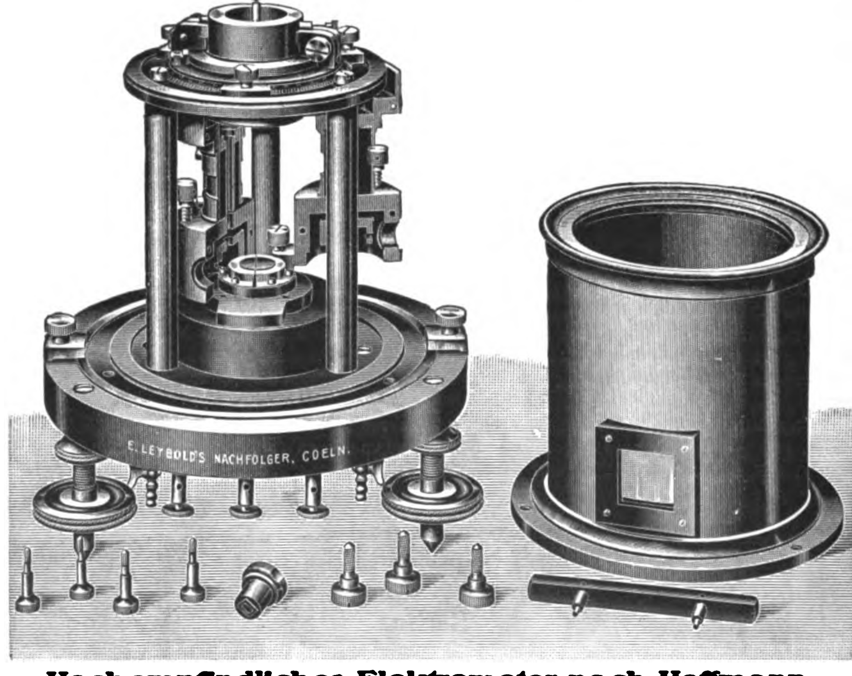
für

Luftdruck / Temperatur / Feuchtigkeit Windmessung / Sonnenschein / Niederschlag / Wasserstandsbeobachtungen

E. Leybold's Nachfolger A. G.

KÖLN a. RHEIN

Zweigniederlassung: **BERLIN NW. 7,** Dorotheenstraße 53



Hochempfindliches Elektrometer nach Hoffmann

Digitized by Google

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLIV. Jahrgang. **September 1924.** Neuntes Heft.

Eine neue Skalateilung.

Von
Prof. Ing. **J. W. Dieperink** in Wageningen (Holland).

A. Einige allgemeine Bemerkungen über Beobachtungen.

Wenn man bei der Ausführung von Beobachtungen Wert legt auf große Genauigkeit, so ist es notwendig, daß die Arbeitsmethode bis in allen ihren Einzelheiten auf das Resultat gerichtet ist. Hierdurch ermöglicht es sich doch, den raschen und regelmäßigen Verlauf der Messung zu fördern, indem man nicht nur die noch vorhandenen Justierungsfehler eines zu verwendenden Instrumentes eliminieren, sondern auch zugleich Einflüsse, von der Zeit abhängig, größtenteils ausschalten und auf gute Kontrolle acht geben kann.

Die verschiedenen Handlungen, die ein zusammengehöriges Verfahren bilden, zerfallen in zwei Hauptgruppen, erstens diejenigen, welche sich auf den Gebrauch des Instrumentes selbst beziehen, und zweitens diejenigen, welche die übrigen notwendigen Arbeiten umfassen.

Meist wird die erste Gruppe am wichtigsten sein, aber das ist keineswegs immer der Fall. So hat man z. B. bei sehr genauen Nivellements beiden Gruppen gleiche Aufmerksamkeit zu widmen.

Im allgemeinen wird dasselbe Instrument, abhängig von der Weise, in welcher man die Einzelteile verwenden kann, verschiedene Arbeitsmethoden zulassen. Bei dem Theodolit z. B. zeigt sich dies in den verschiedenen Arten, auf welche einigen Bedingungen der Justierung entsprochen werden kann, und auch in der Möglichkeit, mit einem Repetitionstheodolit Winkel zu messen, sowohl nach dem Repetitionsverfahren wie durch Satzbeobachtungen.

Die Methoden des Nivellierens sind ausschließlich mit Rücksicht auf das Instrument zu gruppieren je nach der Weise, in welcher man Libelle und Fernrohr verwendet. Die Libelle kann man auf irgendeine Art in Übereinstimmung mit dem Bau des Instrumentes einspielen lassen, oder man kann mit Hilfe der Teilung die Lage der Libellenblase ablesen und daraus im Zusammenhang mit dem Winkelwert die Neigung der Libellenachse und der damit parallelen Fernrohrachse bestimmen.

Das Fernrohr kann man verwenden, um auf die Nivellierlatte einzustellen oder sie abzulesen. Dabei versteht man unter Einstellen das scheinbare Zusammenfallenlassen des Horizontalfadens mit irgendeinem bestimmten Punkt der Skalateilung oder mit der Mitte eines der kleinsten Intervalle davon, indem man in den Begriff Ablesung auch das Schätzen der letzten Dezimale des abgelesenen Wertes einschließt. Aus der Verbindung von entweder Einspielen Libelle oder Ablesen Libelle mit Ab-


Digitized by Google

lesen Fernrohr oder Einstellen Fernrohr, entstehen die vier folgenden Nivelliermethoden:

1. Einspielen Libelle, Ablesen Fernrohr;
2. Ablesen Libelle, Ablesen Fernrohr;
3. Ablesen Libelle, Einstellen Fernrohr;
4. Einspielen Libelle, Einstellen Fernrohr.

Stellt man jetzt die Frage, welche dieser Methoden die meiste Aussicht auf Resultate größter Genauigkeit bietet, ohne daß man zugleich auf einen flotten und regelmäßigen Verlauf der Beobachtung Wert legt, so liegt die Beantwortung in der vergleichenden Untersuchung der Genauigkeit, die beim Einspielen und Ablesen einer Libelle und Einstellen und Ablesen eines Fernrohres zu erreichen ist. Viele Fachleute, unter ihnen Stampfer, Kummer, Reinhertz, Wagner, Hohenner usw., haben sich mit diesen Problemen befaßt. So fand Reinhertz für den zu erwartenden mittleren Fehler bei der Einstellung einer Libellenblase den Ausdruck $0'',09\ \sqrt{H}$, den für die Ablesung zu $0'',20\ \sqrt{H}$, wobei H den Winkelwert in Sekunden bedeutet.

Ebenso liefern zahlreiche Untersuchungen eine größere Genauigkeit für die Einstellung als für die Ablesung an einem Fernrohre. Später wird hierauf noch weiter eingegangen. Bei der Verwendung von Nivellierlatten mit Einteilung in Zentimeter und Halbzentimeter hatten die bei der Einstellung oder Ablesung der Libelle gemachten Fehler einen geringeren Einfluß auf die zu erreichende Genauigkeit bei Nivellements als diejenigen, die bei der Einstellung oder Ablesung des Fernrohres gemacht werden. Es war also zu erwarten, daß man die genauesten Ergebnisse bekommen würde mit der Methode der Einstellung des Fernrohres. Theoretisch aber erreicht man die größte Genauigkeit dann, wenn die Fehler zufolge der verschiedenen Handlungen klein, zufällig und von derselben Ordnung sind.

Obengenannte vier Arbeitsmethoden fanden in der Praxis Anwendung. Wie bereits bemerkt, darf man bei der Beurteilung die größere oder geringere Leichtigkeit der Beobachtungen nicht aus den Augen verlieren, weil davon nicht nur die Genauigkeit abhängen wird, sondern auch die Dauer der Arbeit. Betrachten wir jetzt die vier Methoden.

Die erste ist bis jetzt die gebräuchlichste bei denjenigen Nivellements, bei denen man keinen großen Wert auf höchste Genauigkeit legt. Die Anzahl der Handlungen beschränkt sich auf zwei, nämlich Einstellen der Libelle und Ablesung des Fernrohres. Die Ablesungen sind für die Berechnung der Höhenunterschiede sofort zu verwenden.

Die zweite Methode, Ablesung der Libelle und Ablesung des Fernrohres, erfordert eine Berechnung der Ablesungen bei einspielender Libellenblase aus den Ablesungen auf der Nivellierlatte. Diese Berechnung erfolgt mit Hilfe des Ausschlages der Libellenblase, des Winkelwertes und der Entfernung vom Instrument bis zu der Nivellierlatte; sie ist nicht nur unbequem, sondern kann auch zu Fehlern Veranlassung geben. Weiter soll man den Winkelwert genau bestimmen und einer möglichen Änderung dieser Größe durch äußere Einflüsse Rechnung tragen.

Die dritte Methode erfordert neben Ablesung der Libelle bei eingestelltem Fernrohre ebenfalls eine Berechnung der Ablesung bei einspielender Libelle. Der Einfluß der Veränderlichkeit des Winkelwertes ist hierbei auszuschalten durch Einstellung auf die Mitte von z. B. zwei Latteninterväallen bei annähernd horizontaler Fernrohrachse, so daß die Libellenblase einmal einen positiven und einmal einen negativen


Digitized by Google

Ausschlag zeigt. Aus der Verschiebung der Libellenblase und dem Unterschied der zu den Einstellungen gehörenden Ablesungen auf der Latte kann man die Ablesung bei einspielender Libelle berechnen. Diese Methode wurde mit einer kleinen Änderung bei dem Feinnivellement von 1875 bis 1885 von der *„Rykscommissie voor Graadmeting en Waterpassing“* angewendet. Sie trägt nach ihrem Urheber den Namen „Methode Cohen Stuart“. Der mittlere Wert des zu erwartenden Fehlers im Mittel von zwei Nivellierungen in entgegengesetzter Richtung war 0,75 mm pro Kilometer, was für die damalige Zeit eine große Genauigkeit war.

Die Einführung der Kippschraube als Entfernungsmesser und Einstellschraube bei Nivellieren ermöglichte, die Ablesung der Libellenblase durch Ablesung der Schraube zu ersetzen. Ing. W. Schermerhorn hat 1921 in Delft diese beiden Methoden einer vergleichenden Untersuchung unterworfen im Zusammenhang mit der Vorbereitung einer Nivellierung „Helder-Terschelling“. Er kommt zu einer bestimmten Bevorzugung der Libellenmethode[1]).

Die vierte Methode fordert neben Einspielen der Libelle Einstellung des Fernrohres. Dies ist ohne Änderung im Bau der Instrumente nicht recht möglich. Es ist nämlich dabei nötig, daß man wenigstens dem Fernrohr mit der Libelle zusammen eine vertikale Bewegung geben kann. Die Höhe der Fernrohrachse bei einspielender Libelle und eingestelltem Fernrohr oberhalb einer Vergleichungsfläche soll durch direkte Ablesung an einer Höhenskala festgestellt werden. Man hat in den bekannten Ablesevorrichtungen wie Nonius und Mikroskop Hilfsmittel, um diese Ablesungen sehr genau zu machen.

Diese Methode kann gute Resultate ergeben, wie sich aus der großen Genauigkeit herausgestellt hat, die man bei dem Nivellement der „Landwirtschaftlichen Hochschule“ zu Berlin, bei Westend[2]), erreicht hat, wo man in einer Weise gemessen hat, die nur wenig von der vierten Methode abweicht. Die Anzahl Beobachtungen an dem Instrument ist aber größer geworden, und die Berechnung der Höhenunterschiede aus den Beobachtungen fordert ein wenig mehr Arbeit.

Man hat also im allgemeinen genauere Resultate erzielt durch Anwendung der dritten und vierten Methode, hat aber dabei den Nachteil der größeren Arbeit mit in Kauf nehmen müssen.

So ist das Bestreben verständlich, durch Erhöhung der Ablesegenauigkeit die erste Methode mehr in den Vordergrund zu rücken. Man muß jedoch dabei Sorge tragen, daß eine größere Genauigkeit in der Ablesung nicht erzielt wird durch Vermehrung der Manipulationen, denn dadurch würde einer der großen Vorzüge der ersten Methode, die Schnelligkeit des Operierens, verloren gehen.

Zuerst trachtete man das gestellte Ziel zu erreichen durch die Herstellung von Teilungen mit kleineren Intervallen oder durch die Anordnung von Teilungen mit großen und kleinen Einheiten nebeneinander auf derselben Latte. Im Verhältnis zu der Entfernung von der Latte bis zum Instrument konnte man aus den Teilungen eine Wahl treffen. Auch hat man wohl die vertikalen Begrenzungen z. B. der Zentimeterintervalle ersetzt durch schief verlaufende Linien, um den Raum, wo die Abschätzung stattfindet, zu vergrößern. Aus den englischen und amerikanischen Handbüchern ergibt sich, daß dieses Hilfsmittel in diesen Ländern ziemlich viel angewendet wird.

---

[1]) *Eenige Opmerkingen omtrent nauwkeurigkeidswaterpassing. De ingenieur Nr. 3. Januar 1922.*

[2]) *Zeitschr. f. Vermess.* ***31.*** *S. 1. 1902.*

Digitized by Google

Die Erhöhung der Genauigkeit der Ablesung auf Latten hat nicht nur große Vorteile für Nivellierungen, sondern auch für jede andere Messung, bei der man Skalateilungen verwendet. Für die geodätischen Aufnahmen brauchen wir nur auf die Tachymetrie zu verweisen.

Im folgenden sollen, ohne auf Vollständigkeit Anspruch zu erheben, einige neue Lattenteilungen beschrieben werden, die bis jetzt in den bekanntesten Handbüchern noch nicht erwähnt wurden.

1. Latte für Entfernungsmessung von R. H. Richards, Boston, Massachussets, U. S. A. (Patent Nr. 495 232.)

Richards wendete ungefähr 1890 für indirekte Entfernungsmessung ein Hilfsmittel an, das sich in ähnlicher Form bei dem Nivellierungsinstrument IIIa mit Keilstricheinstellung der Firma Zeiss wiederfindet. Das Objektiv des Entfernungsmessers läßt für die eine Hälfte die Lichtstrahlen ohne weiteres durch. Die andere Hälfte ist mit einem Prisma zu einem optischen System vereinigt, das den hier einfallenden Lichtstrahlen um einen konstanten Winkel ablenkt. Hierdurch entstehen von dem beobachteten Gegenstande, in diesem Falle die Latte, zwei Bilder, die gegeneinander verschoben sind. Die Verschiebung, in Teilungsmaß, ist direkt proportional der Entfernung der Latte—Instrument, und kann am Index (dem verschobenen Nullpunkt) auf dem normalen Bild der Teilung abgelesen werden. Die ganze Vorrichtung ist derartig hergestellt, daß die Ablesung sofort den gesuchten Abstand angibt. Um die Genauigkeit zu erhöhen, verwendet Richards, wie er es nennt, einen optischen Nonius. Wie die Fig. 1[1]) zeigt, ist neben dem Teilungsintervall, das einer Entfernung von 25 Fuß entspricht, ein gleichlaufender Nonius sichtbar. Der Indexstrich des Nonius und der Nullpunkt der Teilung liegen in derselben Linie. Der Noniuswert beträgt hier einen Fuß. Durch Schätzung kann, je nach der Optik des Fernrohres, die Entfernung bis auf Bruchteile eines Fußes ermittelt werden. Die beiden Bilder kommen in einer bestimmten Stellung des Fernrohres nebeneinander zu liegen, die Ablesung geschieht also ganz einfach. Da man hier keine Fäden auf dem Diaphragma verwendet, ist Parallaxe ausgeschlossen.

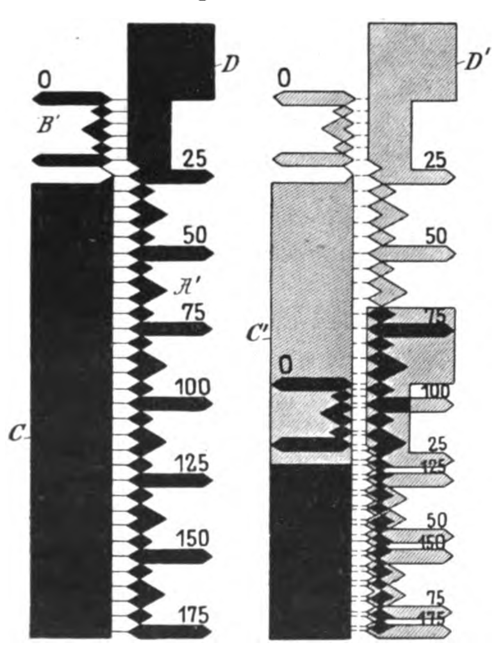


Fig. 1. Latte für Entfernungsmessung von R. H. Richards in Boston.

2. Lattenteilungen nach Pemberton.

Man hat hier (s. Fig.. 2) neun Nonien nebeneinander, welche durch vertikale Kreis- bzw. Rechteckreihen angedeutet sind. Die Ablesung findet statt bis auf Zehntel des kleinsten Teilungsintervalles. Man sucht zuerst das Zeichen auf, welches durch den Horizontalfaden des Fernrohres halbiert wird, und zählt dann die Anzahl der

[1]) Das Bild ist der Patentschrift entnommen.

Digitized by Google

darüber liegenden Zeichen ab, bis man zu demjenigen nächstgelegenen Zeichen kommt, das mit einer der Horizontallinien auf der Lattenteilung zusammenfällt.

Der Erfinder erklärt[1]), daß man mit dieser Latte bei großen Entfernungen noch gute Ablesungen bekommt. Nach meiner Meinung ist die Aussicht, um durch falsches Abzählen Fehler zu machen, nicht sehr klein. Jedenfalls fordern die Ablesungen vom Beobachter ziemlich viel Anstrengung.

Die Lattenteilung ist sowohl für Nivellierungen als für Entfernungsmessung zu verwenden.

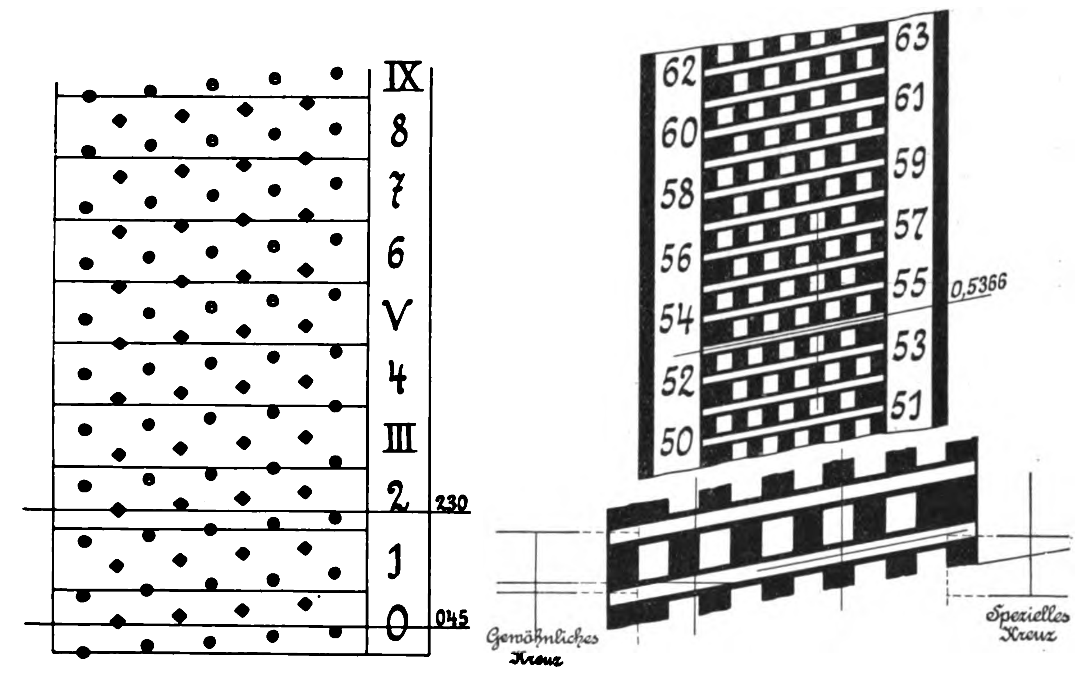


Fig. 2. Lattenteilung nach Pemberton. Fig. 3. Nivellier-Ziellatte nach Albert Nestler in Lahr i. B.

3. Teilung nach Albert Nestler in Lahr in Baden. D.R.P. Nr. 267790 von 1912.

Bei der Nestler-Latte (Fig. 3) verwendet man Transversallinien, wie sie auch bei den bekannten Transversalmaßstäben angewendet werden. Die eigentliche Teilung ist begrenzt durch die Außenseiten der am meisten links und rechts gelegenen, weißgefärbten Parallelogramme. Die Breite der Teilung ist 5 cm. Die Neigung der Transversallinien ist 1 : 5, so daß die geneigten weißen Linien oder Bänder links und rechts mit dem Anfang bzw. dem Ende eines Zentimeterintervalles übereinstimmen. Wenn man in die Längsrichtung der Latte 10 gleichbreite Bänder anbringt mittels abwechselnd weiß und z. B. schwarz oder rot gefärbten Parallelogrammen, so werden durch die geneigten Bänder die Stellen der Millimeter innerhalb jedes Zentimeterintervalls angegeben.

Die Rangziffer eines Millimeters wird bestimmt durch die Anzahl der weißen Parallelogramme, unmittelbar unterhalb und oberhalb der geneigten Linie gelegen, gerechnet vom Millimeter mit der Rangziffer Null.

Wenn das Diaphragma eines Nivellierinstrumentes nur mit einem Horizontalfaden versehen ist, so braucht man nur auf die Latte einzustellen und danach den

[1]) Siehe *Gillesie's Surveying Part I, revised and enlarged by Staley. D. Appleton & Co., New York and London.*

Digitized by Google

Schnittpunkt des Fadens mit einer der geneigten Linien der Latte aufzusuchen, um an dieser Stelle die Ablesung bis in Bruchteile eines Millimeters zu bekommen.

Hat man auf dem Diaphragma des Fernrohres das übliche Fadenkreuz, so kann man mit Hilfe der Einstellschraube den Schnittpunkt der Fäden zusammenfallen lassen mit einer der Transversallinien. Dadurch wird der vertikale Faden innerhalb eines Millimeterintervalles gestellt. Durch Ablesung bestimmt man die Rangziffer des Millimeters und durch Abschätzung den noch hinzukommenden Bruchteil. Das Zusammenfallen des Schnittpunktes der Fäden mit einer schräg verlaufenden Linie ist aber nicht mit sehr großer Genauigkeit zu beobachten. Um diesem Mangel abzuhelfen, ist die geneigte Linie ersetzt durch ein Band, auf welchem man den Schnittpunkt der Fäden schärfer einstellen kann. Eine weitere Verbesserung ergibt sich, wenn man den Horizontalfaden ersetzt durch einen solchen, der dieselbe Neigung wie die Transversallinie hat. Die Einstellung des Fadens auf der Mitte des Bandes kann mit der bekannten großen Einstellgenauigkeit geschehen. Wenn man mit der Nestler-Latte die genauesten Ergebnisse zu bekommen wünscht, so muß man jeder Ablesung eine Einstellung vorangehen lassen, indem man bei Verwendung des geneigten Fadens insbesondere darauf achtet, daß Latte und Diaphragma parallel sind, denn sonst stimmen die Neigungen nicht überein, und man bekommt in den Ablesungen regelmäßige Fehler.

Die Abschätzung der Bruchteile des Millimeters hat stattzufinden innerhalb des Bildes einer der vertikalen Bänder, die nur ein halbes Zentimeter breit sind. Die Entfernung, auf welche man die Nestler-Latte noch verwenden kann, und die zu erreichende Genauigkeit, sind abhängig von der Optik des Fernrohres und der damit zusammenhängenden Größen der Gesichtswinkel, unter welchen man die Fäden, Transversal- und Vertikalbänder sieht. Für tachymetrische Aufnahmen fordert die Einstellung mit drei Fäden sehr viel Zeit. Man hat sich in der Praxis bei diesen Beobachtungen zu beschränken auf die Ablesung der drei Fäden ohne Einstellung.

4. Latte für indirekte Entfernungsmessung von Rudolf Werffeli in Zürich. D.R.P. Nr. 300240 von 1916.

Bei dieser Entfernungslatte verlaufen aus der Mitte zwei Teilungen nach den beiden Enden der Latte.

Diese Teilungen haben, wie aus Fig. 4 (s. S. 387), die der Patentbeschreibung entnommen ist, zu ersehen, einen gemeinsamen Nullpunkt. Die kleinsten Intervalle der beiden Skalen haben verschiedene Größen, aber diese Intervalle können wiedergegeben werden durch die Formel $x + \Delta x$ und $x - \Delta x$.

Der Unterschied zwischen den beiden ist also $2 \Delta x$. Man hat für x 1,0 cm und für Δx 0,05 cm angenommen. Wenn einer der Fäden des Entfernungsmessers mittels der Kippschraube eingestellt ist auf einen Strich (in Fig. 4 bei $a^1 a^1$) der nach unten laufenden Teilung, so wird im allgemeinen der zweite Faden $a^2 a^2$ nicht zusammenfallen mit einem Strich der anderen Teilung. Durch Drehung der Kippschraube kann man das Zusammenfallen der beiden Fäden mit Strichen der zwei Teilungen annähernd herbeiführen. Dieses ist z. B. der Fall mit den Ablesungen 12 und 9 bei aa. Der dazwischenliegende Teil der Latte ist also gleich

$$12(x + \Delta x) + 9(x - \Delta x) = (12 + 9)x + (12 - 9)\Delta x,$$

oder

$$21 \text{ cm} + \frac{12 - 9}{2} \text{ mm} = 21{,}15 \text{ cm}.$$

Digitized by Google

Wie aus Fig. 4 hervorgeht, haben die Teilstriche Keilform, wodurch das Zusammenfallen der Fäden mit den Strichen sehr gut beurteilt werden kann. In Fig. 4 sieht man neben der rechts liegenden und soeben besprochenen Teilung eine zweite Teilung, jedoch mit anderen Einheiten. Diese zweite Teilung ist der ersten fast vollkommen gleich, nur daß die ganze nach oben verlaufende Teilung um den Betrag Δx verschoben ist. Die Einheiten sind wieder

$$x + \Delta x \text{ und } x - \Delta x.$$

Jetzt ist aber

$$x = 1{,}05 \text{ cm} \quad \text{und} \quad \Delta x = 0{,}05 \text{ cm}.$$

Stellt man das Fernrohr so, daß der untere Faden ganz und der obere Faden nahezu mit den Keilstrichen koinzidiert, wobei der letzte auf einem der zwei Striche der zwei oberen Teilungen steht, und liest z. B. ab: 12,1 und 9, so ist die Höhe auf der Latte:

$$(12{,}1 + 9 + 0{,}05)\,\text{cm} = 21{,}15 \text{ cm}.$$

Hierbei ist das Rechnen auf eine einfache Addierung zurückgeführt. Die Verschiebung der oberen linken Teilung hat also den Zweck, die Ablesung der 0,05 mm oder die Abschätzung noch kleinerer Teilungen zu ermöglichen. Die Genauigkeit der Ablesung ist beinahe derjenigen gleich, welche bei Einstellung zu erreichen ist. Das Fernrohr kann also in der üblichen Weise eingerichtet sein. Man kann die Latte auch horizontal verwenden, wenn man die Fäden damit in Übereinstimmung bringt. Der Einfluß der Strahlenbrechung bei der Beobachtung ist dann kleiner. Jeder Reihe von Beobachtungen soll erst eine Einstellung vorangehen.

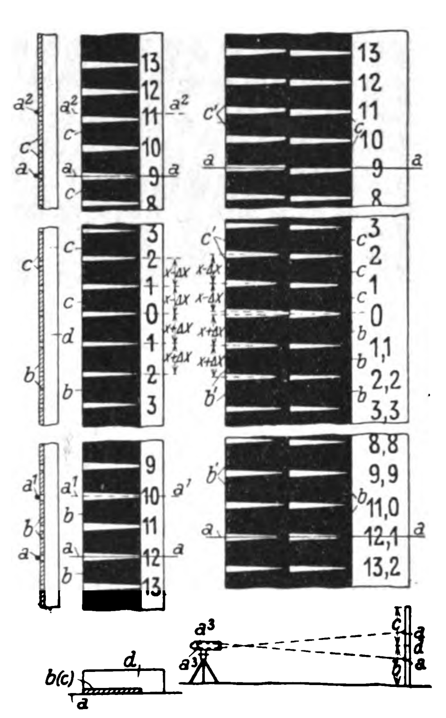


Fig. 4. Latte für indirekte Entfernungsmessung von Rudolf Werffeli in Zürich.

Für Nivellements ist diese Teilung nicht zu verwenden, was natürlich ein Nachteil ist.

5. Optischer Entfernungsmesser mit Meßfäden und Latte von Emil Müller in Möhlin (Schweiz). D.R.P. Nr. 341502 von 1921.

Wenn man Fig. 5 betrachtet, bemerkt man sofort eine große Übereinstimmung mit der Nestler-Latte. Ein auffallender Unterschied indes ist der, daß die Transversalbänder von links nach rechts breiter werden. Wenn man bei indirekter Entfernungsmessung den einen Faden immer auf den Anfangspunkt der Teilung einstellt, so wird bei zunehmenden Entfernungen der andere Faden immer mehr nach rechts auf die Teilung kommen. Wie schon früher bemerkt bei der Besprechung der Nestler-Latte, hat die Dicke der Transversalbänder damit in Übereinstimmung zu sein. Dieser Forderung hat Müller also entsprochen.

Weiter bemerkt man, daß die Zählvorrichtung für die Millimeter fehlt. Als Ersatz hierfür hat Müller den Entfernungsmesser mit einem Okularmikrometer ausgestattet, mit welchem ein Horizontalfaden in vertikaler Richtung verschoben werden kann.

Digitized by Google

Ferner hat man auf dem Diaphragma noch zwei feste Vertikalfäden *a* und *b* und einen ebenfalls festen Horizontalfaden *c*. Die Verschiebung des beweglichen Fadens *d* gegenüber dem festen kann man in Trommelteilen des Mikrometers ausdrücken.

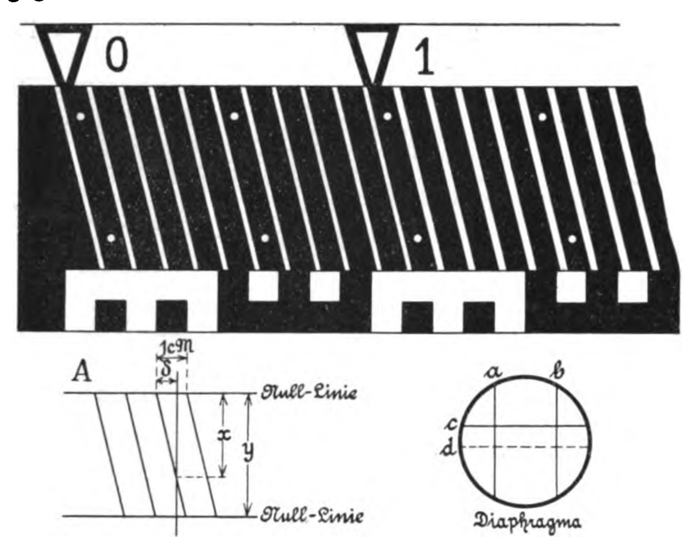


Fig. 5. Latte für Entfernungsmesser von Emil Müller in Möhlin (Schweiz).

Auf der Latte hat man ferner durch kleine Kreise zwei Nullinien gekennzeichnet. In diesen Linien liegen die Anfangs- und Endpunkte der Zentimeterintervalle, in welche die Latte geteilt ist. Das Arbeitsverfahren ist folgendes: Nachdem der Beobachter das Fernrohr auf die Latte gerichtet hat, bringt er den linken Faden auf den Nullpunkt der Teilung. Darauf stellt er mit der Kippschraube den festen Horizontalfaden auf die erste Nullinie. Danach muß mit dem beweglichen Faden auf die erste Nullinie eingestellt werden, weiter auf den Schnittpunkt des rechten Vertikalfadens mit einer der Transversallinien und endlich auf die zweite Nullinie. Zu jeder Einstellung gehört eine Trommelablesung des Okularmikrometers. Aus diesen Ablesungen kann man den Bruchteil Δ des Intervalles berechnen, also gemäß Fig. 5 aus

$$\Delta = \frac{x}{y} \cdot 10\,\text{mm}\,.$$

Man sieht hier, daß die Erhöhung der Ablesegenauigkeit mehr Arbeit mit sich bringt. Es dünkt mich denn auch, daß bei Vergleichung mit der Nestler-Latte die letztere vorzuziehen ist.

Es ist natürlich möglich, wie Müller selbst auch angibt, die transversalen Bänder durch vertikale zu ersetzen, vorausgesetzt, daß einer der Vertikalfäden des Diaphragmas gleichfalls durch einen schräg verlaufenden Faden ersetzt wird.

6. Lattenteilung von Paul Hänel, Köpenick. D.R.P. Nr. 344174 von 1921.

Die Fig. 6 hierzu braucht sehr wenig Erläuterung. Die linke Teilung ermöglicht eine Ablesung bis auf 2 mm mit Abschätzung von Bruchteilen davon. Die rechte Teilung erlaubt die Ablesung von 1 mm, ebenfalls mit Schätzung von Bruchteilen. Eigentlich haben wir es hier zu tun mit 5 cm- und 0,5 cm-Teilungen nebeneinander, welche 2 bzw. 1 mm gegeneinander verschoben sind. Die Transversallinien dienen dazu, um die Bruchteile der kleinsten Intervalle zu schätzen. Da alle Teile so nebeneinander liegen, daß die Transversallinien eine durchlaufende Linie bilden (was nicht unbedingt notwendig ist), hat Hänel durch vertikale Bänder eine Trennung machen müssen. Die Dicke der Bänder übt Einfluß aus auf die Genauigkeit der Abschätzung. Die Teilung wäre nach meiner Ansicht sehr zu verbessern, wenn man von den fünf Teilungen die zweite und vierte ausfallen lassen würde, wodurch die drei übrigbleibenden die richtige Breite von 1 cm bekommen könnten.

Digitized by Google

Ebenso wie bei der Nestler-Latte kann man hier einen Horizontalfaden verwenden. Wenn ein rechtes oder schiefes Fadenkreuz vorhanden ist, so kann man auch ablesen nach Einstellung wie früher beschrieben. Die Teilung ist zu verwenden für Nivellierungen und Entfernungsmessung, bei vertikal und horizontal aufgestellter Latte.

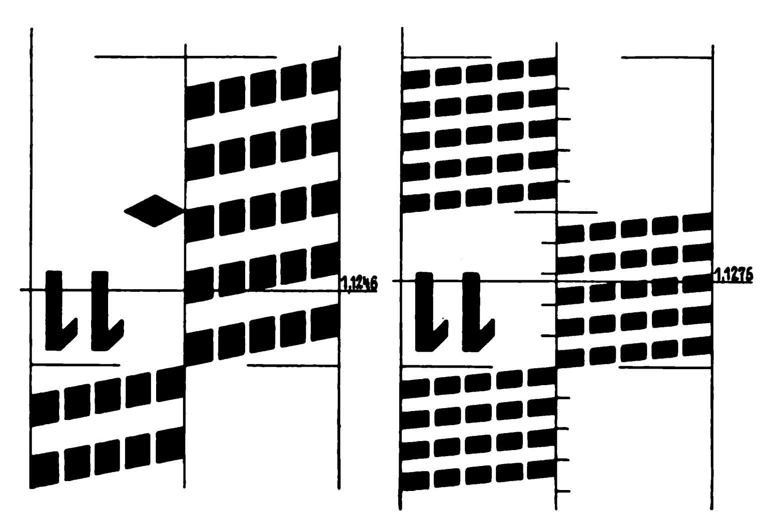


Fig. 6. Lattenteilung von Paul Hänel in Köpenick.

7. Stephenson-Rod.

Wie schon früher bemerkt, findet man in englischen und amerikanischen Handbüchern Abbildungen von Lattenteilungen, welche mit schief verlaufenden Linien versehen sind, die die gewöhnlichen vertikalen Begrenzungen der Teilungsintervalle ersetzen. Vertikale Bänder teilen diese Transversallinien derartig, daß die Abschätzung von Unterteilen sehr erleichtert wird. Die Stephenson-Rod ist davon ein Beispiel. Die Zeichnung rechts oben in Fig. 7 zeigt die Konstruktion, während unten eine Abänderung von mir angegeben ist, die den Vorteil hat, daß das Weiße der Latte gegenüber dem schwarzen Teil hervortritt. Auch geben die Spitzen der weißen Dreiecke die Hauptintervalle der Teilung sehr deutlich an.

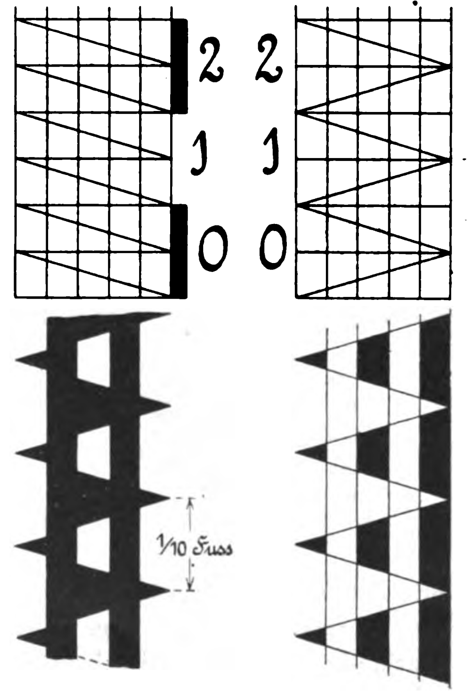


Fig. 7. Stephenson-Rods.

8. Am Schlusse dieser Übersicht der Lattenteilungen ist es notwendig, auch die Zeiss-Nivelliere Nr. III mit Keilstricheinstellung zu erwähnen. Diese Instrumente sind für die genauesten Nivellierungen gebaut. Es besteht bei ihnen die Möglichkeit, durch Drehung einer planparallelen Glasplatte, welche vor das Objektiv gesetzt ist, die Visierlinie parallel zu verschieben. In dieser Weise ist die Schätzung von Bruchteilen durch Messung ersetzt worden.

Digitized by Google

Die Entwicklung der Felder-Millimeterteilung.

Das Studium der Stephenson-Rod war für mich der Anlaß, um nacheinander drei neue Lattenteilungen zu konstruieren. Bei der Herstellung der Teilungen ist ein altes Prinzip, soweit mir bekannt, zum ersten Male angewendet worden. Eine Anwendung der umgeänderten Stephenson-Teilung auf eine Zentimeterlatte, um in dieser Weise die Millimeter anzugeben, gab kein völlig befriedigendes Resultat. Die Millimeter mit den Rangziffern 0 und 5 waren wohl sehr scharf zu beobachten, weil man mit großer Genauigkeit sehen konnte, ob der Horizontalfaden die weißen oder gefärbten Dreiecke halbierte oder nicht. Die Sicherheit des Halbierens, welche in der Einstellung eines Fernrohres oder einer Libellenblase zurückzufinden ist, ermöglicht die Herstellung einer Teilung, ohne Teilstriche zu verwenden. Für die Teilung können dann die angenommenen Herzlinien von Feldern gewählt werden. Ein Teilstrich ist also gegeben durch die Mitte eines Feldes, und das bringt mit sich, daß der Einfluß der Fehler, die man beim Angeben der Grenzen des Feldes gemacht, durch die Mittelung dazwischen stark verkleinert wird. Die Sichtbarmachung z. B. eines Millimeters auf sehr große Entfernung, was mit einer gewöhnlichen Millimeterteilung ausgeschlossen ist, ist abhängig von dem relativen Fehler, mit welchem man auf ein Feld einstellen kann. Man kann immer zwei Felder so groß wählen, daß die Einstellung darauf möglich ist; wenn nun ihre Herzlinien gegeneinander um ein Millimeter parallel verschoben sind, so hängt die Möglichkeit um diesen Lageunterschied durch ein Fernrohr zu beobachten, ausschließlich von dem relativen Fehler bei der Einstellung ab.

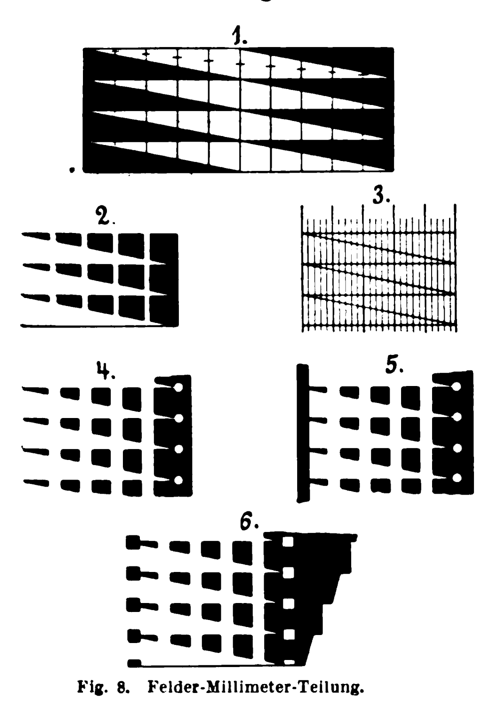


Fig. 8. Felder-Millimeter-Teilung.

Fig. 8, 1 zeigt den ersten Versuch, um nach dem angenommenen Prinzip zu einer Millimeterteilung zu kommen. Die weißen Parallelogramme (Neigung 1 : 5), begrenzt von den gefärbten Dreiecken, sind durch vertikale Linien nach der Breite der Latte in zehn gleiche Teile unterteilt.

Da die Höhe 1 cm ist, so geben die kleinen Striche die notwendigen Lagen des Horizontalfadens für die Ablesungen von 1 bis 9 mm an. Die Teilung konnte, wie Fig. 8, 2 zeigt, bis auf die Hälfte der Breite zurückgeführt werden, indem die schwarzen Linien in den weißen Dreiecken ersetzt wurden durch weiße Bänder in schwarzen Dreiecken.

Fig. 8, 3 gibt eine Skalateilung für Laboratoriumgebrauch wieder. Es stellte sich ein Nachteil heraus, nämlich daß das Grundprinzip für den Millimeter Null nicht verwendbar war. Die kleinen Kreise von Fig. 8, 4 mußten diesem Nachteil abhelfen. Ein zweiter Nachteil war der, daß man bei dem Millimeter 5 gestört wurde von dem Kontrast „schief—recht" der Begrenzungen der farbigen Dreiecke. Ein durchlaufend farbiges Band (Fig. 8, 5) brachte keine Lösung. Dies konnte wohl erzielt werden, indem kleine farbige Rechtecke an der Spitze der Dreiecke angebracht wurden, wie Fig. 8, 6 darstellt.

Digitized by Google

Indem man die Teilung 5 cm breit machte, mit vertikalen Bändern von 4 mm und Reihen von Rechtecken von ebenfalls 4 mm, entstand eine Teilung, auf welcher nicht nur die Millimeter nach dem Prinzip angegeben sind, sondern auch die Bruchteile 0,2 und 0,8 kenntlich gemacht sind. Andere Bruchteile der Millimeter kann man leicht abschätzen. Ein großer Vorteil liegt noch darin, daß man die Millimeter mit den Rangziffern von 0 bis 5 innerhalb der weißen Dreiecke hat, während diejenigen mit Rangziffer von 5 bis 10 in den farbigen Feldern liegen.

Dieser Millimeterteilung ist eine Reihe von Zähltreppen zugefügt worden, je 1 dm hoch. Die Zentimeter, für welche eine gerade Ziffer abgelesen werden muß, sind durch schräge Stufen angedeutet, und die ungeraden Ziffern stimmen mit senkrechten Stufen überein. Wie die Erfahrung gelehrt hat, sind Irrtümer bei der Ablesung der Zentimeter so gut wie ausgeschlossen. Die Bezifferung der Dezimeterfelder ist derartig, daß sie angibt, was man für die Meter und Dezimeter zu notieren hat. Diese Teilung, auf welcher eine Millimeterteilung durch die Anordnung von Feldern erzielt ist, kann nach meiner Meinung gut durch den Namen Felder-Millimeter-Teilung bezeichnet werden.

Das Diaphragma eines Nivellierfernrohres braucht für die Verwendung dieser Latte nur mit einem einzelnen Horizontalfaden versehen zu sein. Ist ein Fadenkreuz vorhanden, so kann man den Schnittpunkt auch innerhalb eines weißen und farbigen Dreiecks einstellen und die Ablesung mittels des Vertikalfadens feststellen. Man kann auch ein Diaphragma mit einem besonderen Fadenkreuz verwenden, bestehend aus einem vertikalen Faden und einem Faden mit einer Neigung von 1 : 10.

Die Einstellung geschieht dann mittels Halbierung eines der Dreiecke, oder man stellt diesen Faden auf die Spitze eines der Dreiecke ein. Im Arbeitsverfahren besteht also eine große Übereinstimmung mit der Nestler-Latte. Bei der letzteren aber findet das Prinzip der Halbierung nur bei dem Verfahren mit Einstellung Anwendung.

Die Breite für die Andeutung eines Millimeterintervalles ist aber auf der Latte nur die Hälfte von derjenigen der Felder-Millimeterteilung.

Die Teilung Skala A (Fig. 9), hatte theoretisch den Nachteil, daß die Millimeter mit laufenden Nummern in der Nähe von 1 oder 9 durch Felder geringerer Höhe angegeben wurde als bei den andern Millimetern. Beobachtungen auf größere Entfernungen zeigten diesen Nachteil auch bei den praktischen Anwendungen. Beim Versuch, diesem Mangel abzuhelfen, entstand Skala B (Fig. 10). Hier sind die Vertikalbänder weggefallen. Dies brachte mit sich, daß in den farbigen Dreiecken die Farbe abwechselnd schwarz und rot sein mußte. Für die Millimeter mit den laufenden Zahlen 0, 1, 9 und 10 sind die horizontalen und schiefen Begrenzungen der farbigen Dreiecke parallel und um 2 mm verschoben. Dadurch ist der mit Skala A verbundene Nachteil aufgehoben.

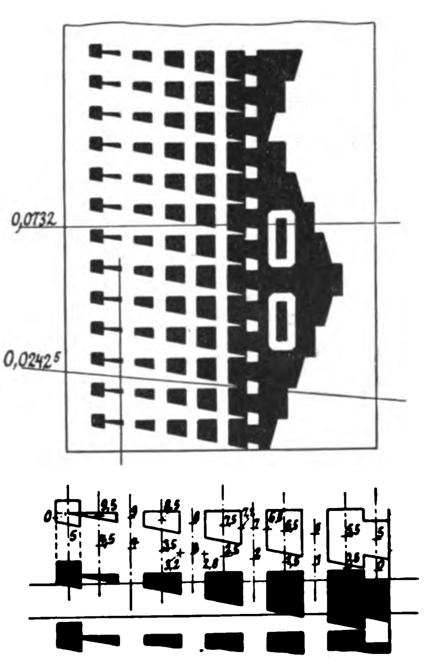


Fig. 9. Felder-Millimeter-Teilung. Skala A.

Legt man über diese Teilung in der Weise, wie Fig. 10 zeigt, ein Netz von Vertikalen und

Digitized by Google

geneigten Linien (Neigung 5:1), so kann man bei Einstellung mittels der Einstellschraube, wie oben beschrieben, an dem Vertikalfaden nicht nur ganze, sondern auch zehntel Millimeter ablesen und hundertstel schätzen.

Natürlich kann dieses Verfahren nur Anwendung finden bei nicht zu großen Entfernungen. Bis auf 50 m ist dies mit einem guten Fernrohr von wenigstens 36facher Vergrößerung noch gut möglich.

In der unteren Abbildung auf Figur 10 findet man einige Beispiele von Ablesungen.

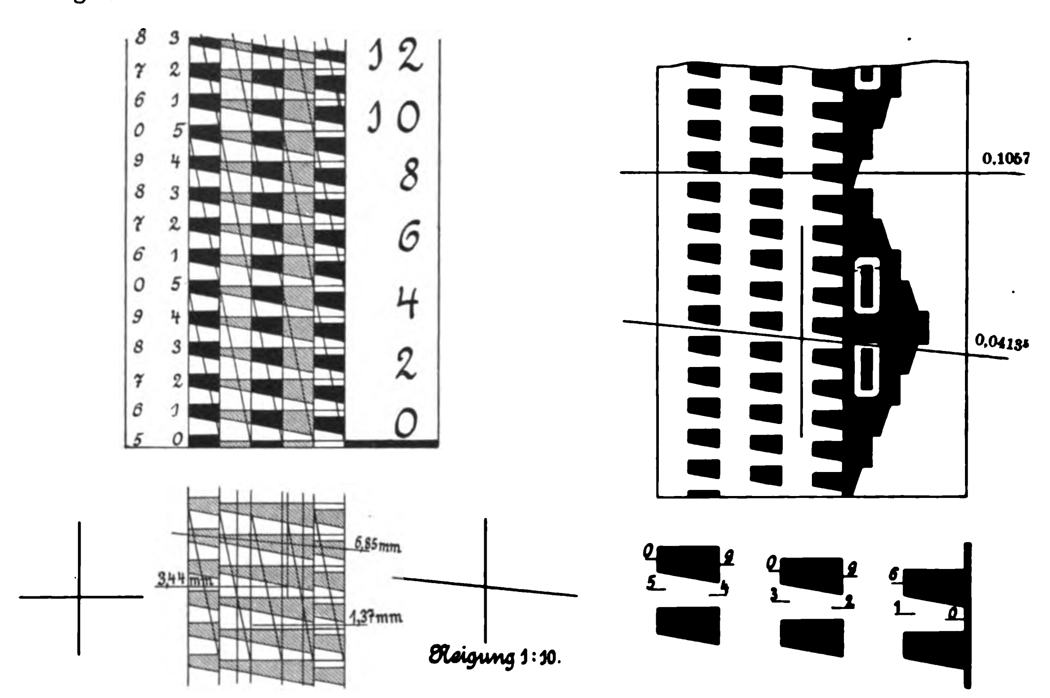


Fig. 10. Felder-Millimeter-Teilung. Skala B. Fig. 11. Felder-Millimeter-Teilung. Skala C.

Wie schon früher bei der Nestler-Latte bemerkt, ist bei der Einstellung immer darauf zu achten, daß Lattenteilung und Diaphragma parallel stehen.

Wenn man Skala B genau betrachtet, erkennt man, daß man die Skalateilung erheblich vereinfachen kann, wenn es auf allzu feine Ablesung nicht ankommt. Man braucht dann nur das zweite und vierte Vertikalband wegfallen zu lassen. Auf diese Weise entstand Skala C, Fig. 11, die dadurch charakterisiert ist, daß sie im Fernrohr ein besonders ruhiges Bild ergibt. Alle Millimeter werden nach dem Grundprinzip auf vollkommen gleiche Weise angegeben. Nur empfiehlt es sich noch, gerade mit Rücksicht hierauf das Zählfeld durch ein weißes Band von der Millimeterteilung zu trennen.

Die drei schon mehrfach genannten Arbeitsmethoden können auch bei Skala C Anwendung finden. Wir können bereits aus der Praxis mitteilen, daß man bei Entfernungen von reichlich 200 m die Millimeter noch sehr scharf ablesen kann, vorausgesetzt daß man ein gutes Nivillierinstrument verwendet.

Die vorhergehende Übersicht, die hauptsächlich chronologisch zusammengestellt wurde, könnte die Annahme erwecken, daß die Skala A, B und C unmittelbar nacheinander hergestellt worden sind. Das ist aber keineswegs der Fall.

Ende 1920 ist die Skala A entstanden, veranlaßt durch die Stephenson-

Digitized by Google

Teilung, ohne daß mir die anderen Teilungen bekannt waren, ausgenommen diejenige von Pemberton und das Verfahren mit der planparallelen Platte von Zeiss. Die erste Ausführung entspricht der Figur 8, 5. Um die Anwendung dieser Teilung in der Praxis versuchen zu können, sind 2 Latten von 3 m Länge hergestellt worden. Mit Hilfe eines Maßstabes von F. W. Breithaupt & Sohn in Kassel wurde die Teilung so gut wie möglich mit hartem Bleistift auf einem Hintergrunde von weißer Farbe aufgetragen. Danach wurde mit Ziehfeder und Lineal die eine Latte in Rot und die andere in Schwarz ausgeführt.

Eine Versuchsmessung im Juli 1921 auf einer Länge von ungefähr 3 km, in 4 Sektionen verteilt, mit einem darin vorkommenden Höhenunterschied von 30 m, ergab einen mittleren Wert des zu erwartenden Fehlers im Mittel eines Hin- und Hernivellements von 0,7 mm pro km. Hierbei wurde ein Nivellierinstrument der Firma Otto Fennel Söhne in Kassel verwendet. Das Fernrohr hat eine 36fache Vergrößerung, ein Objektiv mit einem Durchmesser von 40 mm und einer Brennweite von 435 mm. Winkelwert der Libelle 10 Sek. Die Latten waren in Stativen aufgestellt, und die Entfernung von Instrument bis Latte war ungefähr 50 m. Obgleich dadurch das Nivellement unter ziemlich günstigen Verhältnissen ausgeführt wurde, ist es doch nicht als Nivellement höchster Präzision zu bezeichnen. Erstens weil die Latten behelfsmäßig geteilt waren und zweitens weil den nebensächlichen Arbeiten keine genügende Aufmerksamkeit gewidmet wurde.

Während der Messungen stellte sich heraus, daß bei den Millimetern mit laufenden Nummern 0, 1, 9 und 10 Ablesen und Schätzen schwerer war als bei den übrigen. Wie schon früher bemerkt, entstand aus dem Versuch, diesen Übelstand zu beseitigen, im Jahr 1922 Skala B und nachher Skala C.

Genauigkeitsuntersuchungen für die Felder-Millimeterteilung.

Es ist selbstverständlich, daß jetzt die Frage entsteht, mit welcher Genauigkeit man auf diesen Skalen bei Verwendung der möglichen Arbeitsmethoden und bei verschiedenen Entfernungen ablesen kann. Diese Frage kann man sowohl vom rein wissenschaftlichen wie vom praktischen Standpunkt aus stellen. Wenn es in der Hauptsache auf den wissenschaftlichen Standpunkt ankommt, so ist es notwendig, daß die Beobachtungen unter möglichst günstigen und gleichbleibenden Bedingungen ausgeführt werden. Da die Einrichtung des Institutes für Geodäsie der Landwirtschaftlichen Hochschule in Wageningen, im Gebäude „De Valk", sich für diese Versuche nicht eignete, war eine gründliche Lösung dieser Frage dort unmöglich.

Es blieb nichts anderes übrig, als die Messungen auf der öffentlichen Straße auszuführen, und dafür zu sorgen, daß die Umstände möglichst denjenigen ähnlich waren, unter welchen man bei den Nivellements erster Ordnung arbeitet. Dies hat man bei den später zu berichtenden Resultaten zu berücksichtigen.

Die Untersuchungen bestanden in erster Linie aus der Beobachtung bekannter Höhenunterschiede mit einem Nivellierinstrument und Skalateilungen.

Die bekannten Höhenunterschiede erhielt man mit einem besonders dafür hergestellten, sehr einfachen Apparat. Ein Untersatz, wie er bei geodätischen Instrumenten gewöhnlich vorkommt, trägt eine vertikale Achse, die mit Hilfe einer Dosenlibelle gestellt werden kann, und an welcher ein rechteckiger Rahmen fest verbunden ist. Klemme und Mikrometerwerk sind vorhanden. In der oberen Latte des genannten Rahmens ist eine Mikrometerschraube mit 1 mm Ganghöhe drehbar.


Digitized by Google

Ein Schlitten, der längs den vertikalen Latten des Rahmes gleiten kann, ist an der oberen Seite mit einer Mutter versehen, in welcher die genannte Mikrometerschraube läuft. Toter Gang ist ausgeschlossen. Eine Millimeterskala sowie eine in Hundertstel geteilte Trommel, ermöglicht eine Ablesung am Index in 0,01 mm und Abschätzung in Mikron.

Der Schlitten von der Größe $9 \times 12\ cm^2$ kann an Vorder- und Hinterseite einen Teil einer Skala aufnehmen. Diese Skalen sind auf Papier gezeichnet, das auf eine Glasplatte geklebt ist, um zu verhüten, daß das Papier sich verzieht. Die Teilungen, mit Hilfe des Koordinatographen von Coradi in Hundertstel eines Millimeters angegeben, sind weiter mit Reißfeder und Maßstab so genau wie möglich gezeichnet. Von Skala A wurden 2 Stück hergestellt, eins in schwarzer und eins in roter Farbe. Die beiden andern Skalen sind in Rot hergestellt worden.

Bei der Untersuchung wurden 2 Nivelliere verwendet, nämlich das schon früher genannte Instrument Fennel Nr. 11376 und ein Instrument Zeiss III Nr. 5952 mit 36-facher Vergrößerung und 45 mm Objektivdurchmesser. Beim Fennel-Instrument kann man das gewöhnliche Fadenkreuz ersetzen durch ein Fadenkreuz mit einem Vertikalfaden und 2 Fäden mit Neigung 1 : 10, welche sich in der Mitte des Vertikalfadens schneiden. Man braucht aber nur einen der schiefen Fäden. Das Anbringen eines doppelt-keilförmigen Fadenkreuzes fand nur statt mit Rücksicht auf eine Ersparung, weil man dann später auch Untersuchungen über die Einstellgenauigkeit machen konnte. Der überflüssige geneigte Faden bot keine Bequemlichkeit, sondern bildete eher ein Hindernis.

Das Arbeitsverfahren bei den Untersuchungen war in Kürze das folgende.

Auf beiden Enden einer Linie, die auf der Straße ausgemessen war, wurden zwei starke Stative aufgestellt, wie sie für große Theodolite verwendet werden. Auf einem stand das Nivellierinstrument und auf dem andern der oben näher beschriebene Apparat mit der Skalateilung. Die Teilungsfläche stand senkrecht zu der Linie, die die beiden Stative verbindet. Bei jedem Instrument stand ein Beobachter, meist mit einem Gehilfen, der die Beobachtungen notierte. Der Beobachter der Skala stellte für jede Reihe von Beobachtungen die Schraube in 20 verschiedenen Lagen, wobei die zugehörigen Ablesungen von der Millimeterskala und Mikrometertrommel aufgeschrieben wurden. In jeder Lage der Teilung machte der zweite Beobachter an dem Nivellierinstrument eine Ablesung. Durch vereinbarte Zeichen konnte jede Lattenablesung sofort auf jede Trommelablesung folgen. Die vierzig Ablesungen für eine Reihe verliefen im Mittel innerhalb einer Zeit von 5 Minuten.

Man hatte jetzt zwei Wege, um diese Ergebnisse zu bearbeiten. Man konnte das Mittel der Trommel- bzw. Lattenablesungen für jede Reihe nehmen und durch Vergleichung der Abweichungen der zueinander gehörigen Ablesungen mit dem genannten Mittel war es möglich, die erreichte Genauigkeit zu bestimmen. In dieser Weise könnten sich aber Einflüsse, die innerhalb des Zeitraumes einer Reihe, wie z. B. die Strahlenbrechung, veränderlich sind, sich stark geltend machen. Wenn man aber immer die Unterschiede zweier aufeinander folgenden Skalaablesungen mit den Unterschieden zweier zugehörigen Lattenablesungen vergleicht, so ist dieser Übelstand aufzuheben. Weil man besonderen Wert darauf legte, die Ablese-Genauigkeit bei verschiedenen Entfernungen festzustellen, ist dieser letztere Weg eingeschlagen worden. Die Untersuchung fand statt bei neun verschiedenen Entfernungen von 10 bis 150 m.


Digitized by Google

Für jede Entfernung bestand eine Untersuchung aus folgenden Einzelmessungen:

Skala	A rot,	gewöhnliches	Fadenkreuz	ohne	Einstellung,	2	Reihen
„	A schwarz	„	„	„	„	2	„
„	A rot	„	„	mit	„	2	„
„	A schwarz	„	„	„	„	2	„
„	A rot,	besonderes	„	„	„	2	„
„	A schwarz	„	„	„	„	2	„
„	B rot,	gewöhnliches	„	„	„	4	„
„	B rot,	besonderes	„	„	„	4	„
„	C rot,	gewöhnliches	„	ohne	„	4	„
„	C rot,	besonderes	„	mit	„	4	„
			Also für jede Entfernung			28	Reihen

Es handelt sich also insgesamt um 252 Reihen; für Latte und Skala um je 5040 und für beide zusammen um 10080 Ablesungen.

Durch die bei der Aufstellung getroffenen Maßregeln und durch die direkte Ablesungsweise von Skala und Trommel können die Skala-Unterschiede im Verhältnis zu den Unterschieden auf der Latte als fehlerfrei betrachtet werden. Die Berechnung des mittleren Fehlers gründet sich denn auch auf diese Annahme. Tabelle 1 gibt eine Übersicht der erhaltenen Resultate.

Tabelle 1.

Entfernung in m	Mittlere Fehler in der einzelnen Ablesung in Mikron: Skala A, gewöhnliches Fadenkreuz, ohne Einstellung, rot	Skala A, gewöhnl. Fadenkreuz, ohne Einstellung, schw.	Skala A, gewöhnl. Fadenkreuz, mit Einstellung, rot	Skala A, gewöhnl. Fadenkreuz, mit Einstellung, schw.	Skala A, besonderes Kreuz mit Einstellung, rot	Skala A, besonderes Kreuz mit Einstellung, schw.	Skala B, gewöhnl. Kreuz mit Einstellung, rot	Skala B, besonder. Kreuz mit Einstellung, rot	Skala C, gewöhnl. Kreuz ohne Einstellung, rot	Skala C, besonder. Kreuz mit Einstellung, rot	Einteilung der Fehler der Unterschiede nach: pos.	neg.	null	Summe der positiven und negativen Fehler in $^1/_{100}$ mm: pos.	neg.	Durchschnittsfehler m_v' für alle Skalen in μ	Mittlere Fehler m in der einzelnen Ablesung für alle Skalen in μ	Mittl. Fehler m_v in den Unterschieden für alle Skalen in μ	$\frac{m_v}{m_v'}$ (1,253)
10	42	60	51	50	35	42	46	48	59	44	137	124	19	639	658	55	49	69	1,255
15	51	53	60	64	44	32	56	44	54	48	123	143	14	758	859	58	51	72	1,241
20	69	59	34	61	39	35	64	46	59	45	112	152	16	736	929	59	53	75	1,271
25	63	84	101	81	64	60	55	65	60	76	129	133	18	1033	1151	78	70	99	1,269
50	117	55	58	72	79	86	103	97	65	104	135	133	12	1429	1352	99	89	126	1,273
75	133	120	157	145	165	120	120	130	119	114	120	133	27	1886	2309	150	130	184	1,227
100	203	208	160	222	163	179	201	254	176	223	118	136	26	3175	3302	231	205	289	1,251
125	213	213	266	211	266	266	221	188	200	237	131	125	24	3850	3375	258	225	318	1,233
150	249	292	—	—	—	359	235	295	241	254	108	144	28	3565	5105	310	278	393	1,268
											1113	1223	184	17071	19040	1298		1625	1,253

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, ergeben die drei Skalen für die verschiedenen Entfernungen und Methoden mittlere Fehler in der einzelnen Ablesung, die gegeneinander nicht viel Unterschied zeigen.

Wenn auch die Untersuchung fast gleiche Genauigkeit ergibt, so zeigt doch die Erfahrung, daß es mit der praktischen Brauchbarkeit anders bestellt ist. Bei dieser Untersuchung diente die Libelle des Nivelliers nur zur Aufstellung des Instruments. Das Instrument, nachher auf die Latte gerichtet, brauchte nur für die Einstellung berührt zu werden. Diese Einstellung aber ist nicht nur sehr anstrengend für den Beobachter und dabei zeitraubend, sie wird auch, wenn sie auch noch so vor-

Digitized by Google

sichtig erfolgt, immer einigen Einfluß auf die Ablesung ausüben. Bei Nivellements nach dem ersten Verfahren ergibt die Einstellung mehrere Übelstände, weil das Einspielen der Libellenblase und das Einstellen des Fernrohres zusammenfallen müssen. Dann aber wird, besonders bei Verwendung einer empfindlichen Libelle, jedes Verfahren, das ein Einstellen des Vertikalfadens des Fernrohrs erfordert, hinter demjenigen zurückstehen, wobei an dem Horizontalfaden abgelesen wird, nachdem der Vertikalfaden nur ungefähr auf die Latte eingestellt worden ist.

Dazu kommt noch, daß die Einstellung mit dem geneigten Faden an die schon erwähnte Bedingung geknüpft ist, daß Latte und Diaphragma parallel stehen. Für Untersuchungen wie diese ist das kein Nachteil, da die Latte vor dem Anfang der Beobachtungen nur einmal gut aufgestellt zu sein braucht. Natürlich ist das bei Nivellements mit vielen Aufstellungen nicht möglich ohne viel Zeitverlust.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen kann über jede der drei Teilungen noch folgendes gesagt werden. Skala A genügt bis auf Entfernungen von 75 m sehr gut, besonders bei Verwendung des gewöhnlichen Fadenkreuzes und Ablesung ohne Einstellung. Die Millimeter werden zwar nicht alle gleichwertig angedeutet, dagegen fördern die Vertikalbänder die Abschätzung der Bruchteile. Bei größeren Entfernungen werden die Millimeter, die in der Nähe der Spitzen der Dreiecke liegen, unsicherer. Dieser Übelstand nimmt noch zu bei der Ablesung nach Einstellung, weil dann der Vertikalfaden und auch der geneigte Faden verwirrend wirken. Die Erfahrung hat weiter gelehrt, daß Einstellung mit gewöhnlichem Fadenkreuz ganz gut unterlassen werden kann, weil sie eigentlich nichts anders ist als die Festlegung der Ablesung mittels des Vertikalfadens. Man bestimmt nämlich unwillkürlich schon vorher am Horizontalfaden die Stelle der Halbierung, und die Einstellung beruht dann nur darauf, daß man den Vertikalfaden auf diesen Punkt bringt. Dies ist nicht der Fall bei Einstellung mit geneigtem Faden, weil dabei beurteilt wird, ob dieser eines der weißen oder farbigen Dreiecke halbiert, und durch die Spitze eines Dreiecks geht. Bei größeren Entfernungen ist letzteres für Skala A nicht ohne viel Mühe festzustellen.

Skala B ist durch Ablesen nach Einstellung untersucht worden, was in Übereinstimmung ist mit den Transversalen, die in die Längsrichtung verlaufen. Diese Hilfsvorrichtung für die Ablesung von Zehntelmillimeter und die Abschätzung von Bruchteilen davon leistet nur gute Dienste bei kleinen Entfernungen, wie schon vorher zu erwarten war. Die Skala ist aber auch sehr gut zu gebrauchen bei Verwendung eines gewöhnlichen Fadenkreuzes ohne Einstellung.

Skala C hat sich bei allen Entfernungen und für beide Methoden gut bewährt. Das Verfahren, wobei mit gewöhnlichem Kreuz ohne Einstellung gearbeitet wird, gab infolge seiner Einfachheit dem Beobachter das Gefühl größerer Sicherheit und erlaubte infolgedessen auch eine große Schnelligkeit bei der Ablesung. Eine Fortsetzung mit Skala C nach diesem Verfahren, durch Beobachtung von 2 Reihen auf 175 m und 8 Reihen auf 200 m, ergab mittlere Fehler in der einzelnen Ablesung von 340 bzw. 262 Mikron.

Schließlich erwähnen wir noch, daß die Beobachtungen an 25 Tagen stattfanden, verteilt über die Monate März, Mai, Juli, September, Oktober und November 1923, unter möglichst großen Unterschieden von Luftzitterung, Beleuchtung, Windstärke und Verkehr. Die Zeiten der Beobachtung lagen zwischen 8 und 11 Uhr morgens und 2 und 5 Uhr nachmittags.

Der Übersicht wurde noch eine Einteilung der Fehler nach positiven, negativen


Digitized by Google

und Null-Werten für alle Entfernungen, auf welchen beobachtet wurde, zugefügt. Obgleich die Fehler für die verschiedenen Methoden nicht genau denselben Charakter haben, genügt doch eine einmalige Angabe derselben für alle Methoden zusammen; und das nicht nur mit Rücksicht auf den beschränkten Raum, sondern auch weil die Gleichheit der mittleren Fehler das erlaubt.

Aus der Summe der absoluten Werte der Fehler in den Unterschieden von zwei aufeinander folgenden Ablesungen ist ferner der Durchschnittsfehler m'_v für diese Größen berechnet, indem auch die mittleren Werte m_v dieser Fehler berechnet sind. Das Verhältnis des mittleren Wertes und des Durchschnittswertes gibt durch Vergleichung mit dem theoretischen Wert 1,25331 einen Maßstab für den zufälligen Charakter dieser Fehler. Für die Untersuchung im ganzen genommen stimmt der berechnete Wert bis in der dritten Dezimalstelle genau mit dem theoretischen Wert überein.

Zusammenhang zwischen mittlerem Fehler und Entfernung.

Es schien mir erwünscht, diesen Zusammenhang zu bestimmen, nicht nur für den allgemeinen Fall von allen Skalen und Methoden zusammen, sondern auch für Skala C, gewöhnliches Kreuz ohne Einstellung, insbesondere. Dadurch wurde eine Vergleichung mit früheren Untersuchungen ermöglicht mittels der im Jahre 1915 von Hohenner veröffentlichten Formeln.

Die Gleichung

$$m^2 = \alpha + \beta A + \gamma A^2$$

in welcher α, β und γ Zahlenkoeffizienten sind und A die Entfernung, gibt an, inwieweit der mittlere Fehler der Entfernung oder der Quadratwurzel davon proportional ist.

Indem man für jede Entfernung die Gleichung aufstellt und diese neun Gleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgleicht, bekommt man für den allgemeinen Fall, also für alle Skalen und Methoden zusammen:

$$m_\mu^2 = 1856 - 10{,}16 A + 3{,}414 A^2 \qquad (A \text{ in Meter}).$$

Nach demselben Verfahren wurde für Skala C das folgende Gesetz festgestellt:

$$m_\mu^2 = 2633 - 33{,}68 A + 2{,}707 A^2.$$

In den untenstehenden Tabellen 2 und 3 stehen nebeneinander die mittleren Fehler, berechnet aus den Beobachtungen und aus dem Gesetze, und dahinter die Differenz dieser beiden.

Tabelle 2.
Alle Skalen.

A	m		x
	Beobachtung	Gesetz	
10	49	46	+ 3
15	51	50	+ 1
20	53	55	— 2
25	70	61	+ 9
50	89	99	— 10
75	130	142	— 12
100	205	187	+ 18
125	225	232	— 7
150	278	278	0

Tabelle 3.
Skala C.

A	m		x
	Beobachtung	Gesetz	
10	59	51	+ 8
15	54	52	+ 2
20	59	55	+ 4
25	60	59	+ 1
50	65	102	— 37
75	119	124	— 5
100	176	178	— 2
125	200	202	— 2
150	241	242	— 1

Digitized by Google

Die Unterschiede x sind sehr klein, und zwar namentlich bei Skala C mit Ausnahme der Resultate auf 50 m. Die Beobachtungen bei dieser Entfernung sind also zu günstig verlaufen im Verhältnis zu denjenigen bei andern Entfernungen. Schließlich weisen wir noch darauf hin, daß obenstehende Gesetze nur gelten für Entfernungen zwischen 10 und 150 m.

Es wurde bereits darauf mitgeteilt, daß während der Untersuchung das Verfahren mit gewöhnlichem Fadenkreuz ohne Einstellung auf Skala C sich als das beste für die Praxis herausgestellt hat.

Die Einfachheit und Gleichmäßigkeit der Skalateilung ermöglichte ferner noch ohne allzuviel Arbeit eine Untersuchung auf die Genauigkeit, mit welcher bei diesem Verfahren ein Millimeterintervall auf der Latte zu bestimmen ist. Diese Genauigkeit ist nicht nur abhängig von der Richtigkeit der Teilung und der Zeichnung der trapezförmigen Felder, sondern auch von der Größe des Fehlers, den ein Beobachter macht bei der Einstellung mit dem Horizontalfaden auf den vertikalen Begrenzungen der Felder.

Diese Felder unterscheidet man nach Farbe und Größe. Die Untersuchung soll sich also über das scheinbare Halbieren der vertikalen Begrenzungen von 4 und 6 mm Länge der weißen bzw. farbigen Felder ausdehnen.

Von der Skalateilung C wurde auf Karton ein Teil in Schwarz und Weiß hergestellt, derartig, daß diese kleine Latte in den Einstell-Apparat aufgenommen werden konnte.

Latte und Nivellierinstrument Zeiss Nr. 5952 standen wiederum an den Endpunkten derselben neun Entfernungen auf starken Stativen aufgestellt. Damit der Beobachter am Nivellierinstrument mit seinem Gehilfen bei der Latte sprechen konnte, war eine Feldtelephonanlage notwendig. Die Beobachtungen, wobei soviel wie möglich nach gegenseitiger Unabhängigkeit gestrebt wurde, verliefen wie folgt: Der Beobachter richtete das Fernrohr auf die Teilung und ließ danach das Instrument während jeder Reihe von zwei aufeinanderfolgenden Beobachtungen unberührt. Nach seiner Anweisung drehte der Gehilfe die Mikrometerschraube, bis der Horizontalfaden des Instrumentes als eingestellt beobachtet wurde. Nachdem er dazu den Auftrag bekommen hatte, las der Gehilfe Skala und Trommel der Schraube ab und notierte diese Ablesungen. Danach wurde diese Handlung wiederholt, nachdem zuvor die Schraube bedeutend zurückgedreht worden war. Danach änderte der Beobachter die Neigung der Fernrohrachse des Nivellierinstrumentes ein wenig, und in dieser Lage wurden wiederum zwei Einstellungen mit zugehörigen Ablesungen vorgenommen.

Jede Reihe bestand aus 20 Beobachtungen, die 10 Differenzen gaben. Wenn man diese Differenzen als wahre Fehler auffaßt, kann man daraus sofort den mittleren Fehler der einzelnen Einstellung berechnen.

Für jede Entfernung waren 4 Reihen erforderlich, und zwar für Einstellung auf bzw. 4 mm weiß, 6 mm weiß, 4 mm schwarz und 6 mm schwarz.

Insgesamt sind also 36 Reihen mit 720 Einstellungen beobachtet worden. Die Beobachtungen forderten pro Reihe 20 Minuten und kosteten dem Beobachter viel Anstrengung. Weil zur Einstellung bedeutend mehr Zeit nötig ist als zur Ablesung, so ist es nicht ausgeschlossen, daß die Ergebnisse stärker durch die Veränderlichkeit der Refraktion beeinflußt worden sind als diejenigen, welche man bei der Untersuchung der Ablesegenauigkeit bekommen hat. Was bezüglich der Refraktion gesagt worden ist, gilt natürlich ebenso für alle Umstände, die als mit der Zeit veränderlich zu betrachten sind.


Digitized by Google

Diese Beobachtungen sind ebenfalls auf öffentlichem Wege gemacht worden mit allen Nachteilen, welche damit verbunden sind. Die erzielten Ergebnisse müssen daher mit Rücksicht hierauf beurteilt werden.

Tabelle 4.

A	Mittlere Fehler für weiß		Mittlere Fehler für schwarz		Summe der Fehler		Anzahl der Fehler			m m. F. in der einzelnen Einstellung	m_v m. F. in den Unterschieden	m_v' D. F. in den Unterschieden	$\frac{m_v}{m_v'}$
	4 mm	6 mm	4 mm	6 mm	pos.	neg.	pos.	neg.	null				
	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ	
10	12	13	12	9	266	276	22	16	2	12	17	14	1,214
15	10	14	12	21	309	364	17	22	1	15	21	17	1,235
20	14	11	12	13	326	273	20	19	1	13	18	15	1,200
25	17	25	20	22	343	701	12	28	0	21	30	26	1,154
50	16	26	27	22	539	462	18	21	1	23	33	25	1,320
75	28	42	51	31	754	937	21	19	0	39	55	42	1,310
100	85	63	92	66	1529	1969	14	26	0	78	110	87	1,264
125	65	43	32	54	527	1432	15	24	1	50	71	49	1,449
150	51	32	30	43	1101	701	24	16	0	40	57	45	1,267
					5694	7115	163	191	6		412	320	1,287

In Tabelle 4 sind für jede Entfernung die vier erzielten mittleren Fehler aufgenommen, sowie eine Einteilung der wahren Fehler nach positiven, negativen und Nullwerten für die vier Reihen zusammen. Auch ist die Summe der positiven und negativen Fehler erwähnt, der daraus berechnete Durchschnittsfehler und der mittlere Fehler, nach Vereinigung der vier Reihen. Das Verhältnis des mittleren und des Durchschnittsfehlers gibt wiederum einen Maßstab für den Grad der Zufälligkeit.

Das Durchschnittsverhältnis 1,287 zeigt, daß der Charakter der Fehler nicht absolut zufällig ist. Offenbar haben sich Einflüsse, wie z. B. der Refraktion, infolge der längeren Zeit, die man für die Feststellung der Unterschiede braucht, geltend gemacht.

An der Hand der Ergebnisse hat man versucht, den Zusammenhang zwischen dem mittleren Fehler für einzelne Einstellung und der Entfernung von Instrument bis Latte festzustellen.

Ein gesetzmäßiger Verlauf nach der Gleichung

$$m_e^2 = \alpha + \beta A + \gamma A^2$$

wird von den Ergebnissen nicht bestätigt. Man fand nur:

$$m_e^2 = -108 + 17A,$$

worin A die Entfernung vom Instrument bis Latte in Meter ist. Bei der Bestimmung dieser Beziehung hat man die Ergebnisse, die man auf 100 m bekommen hatte, nicht verwendet, weil diese im Vergleich zu denjenigen für andere Entfernungen nicht als normal zu betrachten sind. Die Beobachtungen auf größerer Entfernung unter Verwendung des Feldtelephons erforderten im Anfang sehr viel Anstrengung vom Beobachter, und da gerade die Beobachtungen auf 100 m zuerst gemacht worden sind, so ist der große mittlere Fehler mit Rücksicht auf die Ungeübtheit sehr gut zu erklären. In Tabelle 5 sind die mittleren Fehler aufgenommen, berechnet aus den Beobachtungen und aus dem Gesetze. Aus den kleinen Differenzen x kann man feststellen, daß das Gesetz den Beobachtungen genügend entspricht.


Digitized by Google

Tabelle 5.

A	m_e in μ		x
	Beobachtung	Gesetz	
10	12	8	+ 4
15	15	12	+ 3
20	13	15	— 2
25	21	18	+ 3
50	23	27	— 4
75	39	34	+ 5
100	—	40	—
125	50	45	+ 5
150	40	49	— 9

Vergleichung mit Ergebnissen früherer Untersuchungen.

In seiner Veröffentlichung: „Über das Zielen mit dem Zielfernrohre und das Abschätzen der Lage des Zielfadens auf Teilungen“ gibt Hohonner die drei folgenden Formeln:

$$m_z'' = \frac{7'',23}{v}\sqrt{1+\left(0,0828\,\frac{J}{f}\right)^2}, \qquad \text{I}')$$

$$m_e'' = \frac{15'',65}{v}\sqrt{1+0,002\,Z_m}, \qquad \text{II}')$$

$$m_s'' = \frac{3'',925\,t_{mm}}{v} + \frac{41,25}{Z_m}. \qquad \text{III}')$$

Er sagt dabei: „In diesen drei Gleichungen bedeuten m_z'' den mittleren Einstellfehler einer scharfen Zielzeichenmitte unter günstigsten äußeren Umständen, der sich vermutlich der Grenze nähert, die bei geodätischen Vermessungen mit Zielfernrohren auf kleine Entfernungen Z erreicht wird; v die Fernrohrvergrößerung; J den Winkel, unter dem das Zielzeichen und f denjenigen, unter dem der Zielfaden durchs Fernrohr gesehen wird; m_e'' den mittleren Einstellfehler verhältnismäßig schmaler Feldmitten $\left(\frac{J}{f} < \sim 20\right)$ bei gewöhnlichen Feldbeobachtungen (unter mittleren äußeren Umständen); Z_m die Entfernung des Zielzeichens von Fernrohren in Metereinheiten; m_s'' den mittleren Abschätzungsfehler der Lage der Zielfadenmitte an beliebiger Stelle eines in t mm geteilten Maßstabes.“

Hohenner hat in obenstehender Formel I') die Angaben von Stampfer, Wagner, Kummer und Schweimer verwendet und das Resultat mittels graphischer Ausgleichung bekommen. Formel II') bezieht sich auf die Beobachtungen von Hohenner und seinen Mitarbeitern Schaub und Löffler; nach Mitteilung von Hohenner wird diese Formel durch die Untersuchungen von Reinhertz, Börsch und Seibt bestätigt. Formel III') ist durch graphische Ausgleichung der Resultate von Reinhertz und Kummer berechnet worden, die aber untereinander ziemlich viel Unterschied zeigen. Die Formel wird durch die Ergebnisse gestützt, welche Hohenner bei Feinnivellements bekommen hatte.

Obenstehende drei Formeln, welche nach Hohenner auch noch gültig sind für Entfernungen > 150 m, ermöglichen die von mir erzielten Ergebnisse mit denjenigen der genannten Beobachter zu vergleichen.

Digitized by Google

Tabelle 6.

A		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Hohenner I')	m_z''	0″,855	0″,462	0″,342	0″,289	0″,261	0″,244	0″,233	0″,226	0″,221	0″,217	0′,215	0″,212	0″,211	0″,209	0″,208
	m_z^{μ}	41″	45″	50″	56″	63″	71″	79″	88″	97″	105″	114″	124″	133″	142″	151″
Dieperink	m_z''	0″,167	0″,155	0″,138	0″,124	0″,111	0″,103	0″,097	0″,090	0″,087	0″,083	0″,079	0″,076	0″,073	0″,071	0″,069
	m_z^{μ}	8″	15″	20″	24″	27″	30″	33″	35″	38″	40″	42″	44″	46″	48″	49″
	$m^{\mu}_{m\cdot m} = m_z^{\mu}\sqrt{2}$	11″,3	21″,2	28″,3	33″,9	38″,2	42″,4	46″,7	49″,5	53″,7	56″,6	59″,4	62″,2	65″,1	67″,9	70″,7
	$\frac{1000^{\mu}}{m^{\mu}_{m\cdot m}}$	88	47	35	29	26	24	22	20	19	18	17	16	15	15	14
	$\frac{m_z H}{m_z D}$	5,1	3,0	2,5	2,3	2,3	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1
$\frac{J''}{v}$ für $t = 5\cdot m\mu$		103″	52″	34″	26″	21″	17″	15″	13″	12″	10″	9″,4	8″,6	7″,9	7″,4	6″,9
	$\frac{J''}{f''}$	50	25	17	12	10	8	7	6	6	5	5	4	4	4	8
Relative mittlere Fehler in der Einstellung	H	1 : 121	112	100	89	79	70	63	57	52	48	44	40	38	35	33
	D	1 : 622	333	250	208	185	167	152	143	132	125	119	114	109	104	100
Hohenner	m_s'' für $t = 5$ mm	4″,670	2″,607	1″,920	1″,576	1″,370	1″,231	1″,134	1″,061	1″,003	0″,957	0″,920	0″,889	0″,862	0″,840	0″,820
	m_s^{μ} „ $t = 5$ mm	226″	253″	279″	306″	332″	358″	385″	411″	438″	464″	491″	517″	543″	570″	596″
Dieperink Skala C mit gew. Kr. ohne Einstellung	m_s''	1″,052	0″,567	0″,440	0″,387	0″,363	0″,351	0″,342	0″,337	0″,337	0″,334	0″,334	0″,333	0″,333	0″,333	0″,333
	m_s^{μ}	51″	55″	64″	75″	88″	102″	116″	131″	147″	162″	178″	194″	210″	226″	242″
	$\frac{m_s H}{m_s D}$	4,4	4,6	4,4	4,1	3,8	3,5	3,3	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5
Hohenner für $t = 10$ mm	m_s''	5″,215	3″,152	2″,465	2″,121	1″,915	1″,776	1″,679	1″,606	1″,543	1″,502	1″,465	1″,434	1″,407	1″,385	1″,365
	m_s^{μ}	253″	306″	359″	411″	464″	517″	570″	623″	675″	728″	781″	834″	887″	940″	993″
Dieperink $10\sqrt{(m_s^{\mu})^2 - (m_z^{\mu})^2}$		503	529	608	711	838	975	1112	1262	1420	1570	1730	1889	2049	2208	2370
	$\frac{D}{H}$	1,99	1,73	1,69	1,73	1,81	1,89	1,95	2,03	2,10	2,15	2,21	2,26	2,31	2,34	2,38

Digitized by Google

In der Übersicht in Tabelle 6 sind folgende berechnete Werte aufgenommen:

Nach Formel I′ von Hohenner sind die mittleren Fehler in der Einstellung für Entfernungen bis auf 150 m berechnet, ausgedrückt in Sekunden und im Zusammenhang mit der Entfernung umgerechnet in Mikron. In Formel I′) hat man $v = 36$ und $f = 74$ Sekunden eingesetzt, nämlich die Vergrößerung und den Gesichtswinkel für den Horizontalfaden des Nivelliers Zeiss Nr. 5952, womit von mir die Untersuchung für Skala C gemacht wurde. Bei der Berechnung ist für J ein Skalaintervall von 5 mm angenommen, welches sich am besten der Teilung von Skala C anpaßt.

Weiter sind aus dem Gesetze

$$m_\mu^2 = 2633 - 33{,}68A + 2{,}707A^2$$

für dieselben Entfernungen die mittleren Fehler in beiden Einheiten abgeleitet.

Die Größe m_{mm}^{μ} gibt an, mit welchem mittleren Fehler in Mikron ein Millimeterintervall durch das Halbierungsprinzip angegeben wird, wenn man die Lattenteilung selbst dabei als fehlerfrei annimmt. Wie die Tabelle zeigt, liegen diese mittleren Fehler zwischen $^1/_{88}$ und $^1/_{14}$ des Millimeterintervalles, da diese Werte zur kleinsten und größten Entfernung gehören. Das Verhältnis $\frac{m_z H}{m_z D}$ zeigt, daß die von mir gefundenen mittleren Fehler in der einzelnen Einstellung bedeutend kleiner sind als die, welche sich aus der Formel von Hohenner ergeben. Dieser Unterschied ist nach meiner Meinung auf folgende Weise zu erklären: Von den genannten Geodäten ist die Einstellgenauigkeit für einen bedeutenden Teil abgeleitet aus Beobachtungen, wobei nicht nur ein Faden auf ein einzelnes Intervall eingestellt wurde, sondern wobei dies für zwei Fäden zugleich geschah. Die Erfahrung hat mich gelehrt, daß die Untersuchung mit einem Faden nicht nur das Auge stark beansprucht, sondern auch viel Geduld erfordert, wenn man nach äußerster Genauigkeit strebt. Wieviel mehr muß dies der Fall sein bei anderen Untersuchungsverfahren! Auch muß die Berechnung aus Reihen von Beobachtungen gegenüber der Berechnung aus Unterschieden, aus mehrfachen Gründen einen Teil des gefundenen Widerspruchs erklären. Derselbe kann aber nicht groß sein, weil Schermerhorn bei den früher genannten Untersuchungen im Jahre 1922 bei einer mittleren Dauer einer Reihe von einer halben Stunde für das Verhältnis der mittleren Fehler aus jeder Reihe und aus den Unterschieden der Beobachtungen an zwei nebeneinander stehenden Instrumenten im Mittel nur 1,29 fand.

Schließlich bemerke ich noch, daß die Trapezform der Felder das Einstellen auf Skala C für das Auge sehr erleichterte.

Tabelle 6 gibt ferner den Gesichtswinkel an, unter welchem man ein Intervall von 5 mm auf verschiedene Entfernungen mit dem unbewaffneten Auge sieht, sowie das Verhältnis dieses Gesichtswinkels zu demjenigen des Horizontalfadens; ferner den relativen mittleren Fehler für jede Einstellung, wie man ihn aus der Formel von Hohenner berechnet und wie er aus der Untersuchung für Skala C erfolgt.

Mit Hinsicht auf die große Genauigkeit, die man bei der Einstellung erreichen kann, entstand bei mir während der Beobachtung die Frage, ob die Hersteller der Instrumente den Einstellschrauben genügende Aufmerksamkeit widmen. Jeder, der viele Winkelmessungen gemacht hat, muß wohl erfahren haben, daß er bei der Einstellung mehr erreichen konnte als das, wozu die Konstruktion der Einstellvorrichtung ihn in den Stand setzte.

Ferner bringt Tabelle 6 die nötigen Angaben für die Berechnung der mittleren


Digitized by Google

Fehler in der Ablesung. Das Verhältnis ist hier noch mehr zugunsten von Skala C verschoben. Man hat aber hier eigentlich eine Vergleichung von Ergebnissen für zwei Ablesemethoden, die in sich sehr verschieden sind. Die Vergleichung ist erst vollständig, wenn man dabei auch die Bequemlichkeit in Betracht zieht, mit welcher eine Ablesung erfolgt, sowie die äußeren Umstände, unter denen die Untersuchung stattfindet. Die Umstände waren bei der Untersuchung von Skala C sicher nicht so günstig, wie es für eine besondere Untersuchung erwünscht ist. Trotzdem konnte doch festgestellt werden, daß Skala C eine große Schnelligkeit der Ablesung ermöglicht. Auch die Anwendung der Teilung bei Vermessungen in der Praxis haben das schon gezeigt.

Wenn man sich von der Ablesungsmethode auf Skala C Rechenschaft gibt, dann sieht man leicht ein, daß ein Ablesefehler sich zusammensetzt aus einem Einstellfehler und aus dem Zehntel eines Schätzungsfehlers, welchen man bei der Abschätzung innerhalb der fünf vertikalen Bänder von 1 cm Breite macht. Stellt man diesen letzten Fehler dar durch m_s', so ist

$$\frac{1}{100}(m_s')^2 + m_z^2 = m_s^2 \quad \text{oder} \quad m_z' = 10\sqrt{m_s^2 - m_z^2}.$$

Berechnet man weiter mittels Formel III') den mittleren Fehler in der Ablesung auf den in Zentimeter geteilten Latten, so kann man diesen vergleichen mit dem entsprechenden Wert von m_s'. Diese Angaben bilden die letzte Reihe der Tabelle 6. Man sieht daraus, daß die Abschätzung der Zehntelmillimeter auf Skala C nicht mit derselben Genauigkeit stattfindet wie die Abschätzung der Millimeter auf der Zentimeterteilung. Dennoch schließt sich Formel III') ziemlich gut an, wenn man folgendes bedenkt: m_s ist bestimmt aus schnell verlaufenen Ablesungen, wie man sie bei gewöhnlicher Feldarbeit verrichtet. Die Werte liegen also ziemlich sicher nicht an der unteren Grenze. Dazu kommt noch, daß die Stelle, wo man die Zehntelmillimeter abschätzt, bei Verwendung eines gewöhnlichen Fadenkreuzes ohne Einstellung nicht von dem Vertikalfaden angegeben wird. Auch kann man noch bemerken, daß die Genauigkeit der Abschätzung in Vertikalbändern noch nicht dieselbe zu sein braucht wie die an den horizontalen Feldern, auf welche Formel III') sich bezieht. Schließlich ist auch 10 ein großer Faktor.

Aus den erzielten Resultaten kann also sicher abgeleitet werden, daß Skala C eine Möglichkeit bietet, um die in der Einleitung genannte erste Methode von Nivellements mehr in den Vordergrund zu rücken.

Der mittlere Fehler in der Einstellung einer Libellenblase ist nach **Reinhertz** $0'',09\sqrt{H}$. Setzt man $H = 10$ Sek., so ergibt das einen mittleren Fehler von ungefähr 0,3 Sek., ein Wert, der im Winkelmaß übereinstimmt mit demjenigen des mittleren Fehlers der Ablesung auf Skala C. Die Fehler in der Ablesung und in der Einstellung der Libelle sind also für die großen Entfernungen von derselben Ordnung.

Untersuchung der Brauchbarkeit von Skala C für Nivellements in der Praxis.

Nach der speziellen Untersuchung konnte eine Prüfung von Skala C in der Praxis nicht unterbleiben. Die Schnelligkeit der Ablesung bei größeren Entfernungen, wobei kleine mittlere Fehler bestehen blieben, läßt erwarten, daß Skala C insbesondere für Nivellements bei großer Zielweite geeignet sein muß. Um dies zu untersuchen, wurde längs der Nordgrenze des Reichsweges von Wageningen nach


Digitized by Google

„De Grebbe“ eine Entfernung von rund 2850 m durch feste Marken in drei Sektionen geteilt, nämlich 2 von 1 km und eine von 850 m. Die durchschnittliche Entfernung von Instrument bis Latte war 120 m. Verwendet wurde das schon früher genannte Nivellierinstrument Nr. 11376 von Otto Fennel Söhne. Die Wendelibelle hat einen Winkelwert von 10 Sek. Die Latten wurden in Stativen auf die bekannten Untersätze von Carl Zeiss aufgestellt. Als Lattenhalter dienten gewöhnliche Stative, mit welchen ein gabelförmiger Arm mittels einer Klemmschraube horizontal fest verbunden werden konnte. Solange diese Schraube noch nicht angedreht ist, kann eine Drehung und Verschiebung des Armes erfolgen. Der Gehilfe kann den Arm derartig stellen, daß die Dosenlibelle, mit der jede Latte versehen ist, einspielt. Durch Andrehen der Klemmschraube und Feststellen der Latte in die Gabel mittels eines Keiles wird die vertikale Lage der Latte gesichert.

Die Beobachtung geschah wie folgt:

Ablesung auf Hinterlatte bei einspielender Libelle, oben.
" " " " " " unten.
" " Vorderlatte " " " unten.
" " " " " " oben.

Nach vertauschter Aufstellung erfolgte eine zweite Beobachtung in entgegengesetztem Sinne. Die Beobachtungsgruppe bestand aus 6 Personen, nämlich einem Beobachter am Fernrohr und einem an der Libelle; einer führte das Protokoll, zwei Gehilfen sorgten für die Aufstellung der Latten, und einer schützte, wenn nötig, das Instrument mittels eines Sonnenschirmes gegen die Sonne und half beim Transport. An vier aufeinander folgenden Tagen wurden die drei Sektionen in Hin- und Rückgang nivelliert. Die vier Ergebnisse pro Tag lieferten für jeden der vier Tage die folgenden mittleren Fehler pro Kilometer in einer Richtung:

1,8 mm 1,9 mm 0,5 mm und 0,8 mm.

Dies ergibt im Durchschnitt für die vier Tage 1,4 mm, für die ersten beiden Tage 1,9 und für die letzten beiden 0,7 mm.

Für 1 km doppeltes Nivellement war eine Stunde nötig, so daß man also in dieser Zeit über 1 km eine Höhe mit einem mittleren Fehler von rund 1 mm (1,3 mm und 0,5 mm) ermitteln kann.

Wenn man nur mit den Ablesefehlern und den Einstellfehlern der Libelle rechnete, so hatte man nach der vorhergehenden Untersuchung einen mittleren Fehler pro Kilometer einzelnes Nivellement von rund $0{,}17\sqrt{8} = 0{,}48$ mm zu erwarten. Nur das Resultat des dritten Tages stimmt damit sehr gut überein. Die weniger guten Ergebnisse der ersten beiden Tage kann man zum Teil auf die Ungeübtheit des Beobachters an der Libelle zurückführen. Weiter ist noch zu erwähnen, daß alle vier Arbeitstage innerhalb der großen Hitzeperiode vom Juli 1923 fielen, und daß auf dem Wege ein sehr starker Verkehr von Karren und Kraftwagen stattfand. Man darf das Nivellement also nicht betrachten als ein solches, wobei nach größter Genauigkeit gestrebt wurde.

Ferner wurde die erste Sektion erneut in Hin- und Rückgang doppelt nivelliert, mit der Änderung, daß die Beobachter am Fernrohr und Libelle für die zweite Messung wechselten. Sowohl im Hin- als Rückgang gaben die zwei gleichzeitigen Nivellements genau dasselbe Resultat. Die Ergebnisse des Hin- und Rückganges aber zeigten einen unerwarteten Unterschied von 2 mm. Die Ursache wurde in der Änderung der Höhenlage der Lattenuntersätze durch Erschütterung des Bodens zu-


Digitized by Google

folge des Verkehrs gesucht. Die Latten waren nämlich mittels Keilen in den gabelförmigen Armen befestigt, und es ist nicht ausgeschlossen, daß bei der Erschütterung Latte und Arm auf die Untersätze aufstießen.

Sektion 1 wurde deshalb erneut gemessen. Jetzt wurden hölzerne Lattenuntersätze am Tage vorher in den Boden geschlagen. Die obere Fläche derselben war mit einer Holzschraube mit rundem Kopf versehen. Die Latten wurden jetzt nicht mehr mittels Keilen befestigt, sondern nur mittels einer Schnur in der Gabel gesichert.

Im Interesse größerer Genauigkeit wurde die Entfernung von Latte bis Instrument auf 85 m reduziert.

Der Beobachter am Fernrohr stand auf einer hölzernen Unterlage, damit der Druck auf den Boden vom Stative abgeleitet wurde. Der Beobachter an der Libelle wechselte nach jeder Aufstellung seinen Platz in Bezug auf das Instrument. Stand er einmal links vom Instrument, so war sein Platz das nächste Mal rechts von der Hauptrichtung des Nivellements.

Die Messungen ergaben einen mittleren Fehler von 0,64 mm pro Kilometer des einzelnen Nivellements, und für das Mittel der vier Werte also 0,32 mm.

Die Schnelligkeit betrug wiederum eine Stunde für 1 km doppeltes Nivellement. Die Erfahrung hat gelehrt, daß die Schnelligkeit der Operation in der Hauptsache abhängt von derjenigen, mit welcher man die Hinterlattte nach vorn bringen kann. Wenn man mehrere Stative verwendet, und die Lattengehilfen sich mittels eines Fahrrades bewegen, so kann die Schnelligkeit sehr bedeutend erhöht werden.

Die Latten, in Schwarz und Rot ausgeführt, hatten eine Länge von 3 m, einen T-förmigen Querschnitt und waren aus Holz hergestellt. Mit dem Einfluß der Temperatur brauchte man nicht zu rechnen, weil die Höhenunterschiede in jedem Standpunkt des Instrumentes nur sehr gering waren.

Nivellement Maastricht-Roermond mittels der Felder-Millimeter-Teilung.

Als endgültiger Versuch wurde mir im Juni 1923 vom Geodätischen Büro von Ing. W. Schermerhorn in Delft angeboten, bei einem von diesem Büro auszuführenden Nivellement von Maastricht nach Venlo die soeben genannten hölzernen Latten, versehen mit der Felder-Millimeter-Teilung nach Skala C, zu verwenden. Da Schermerhorn seinem Auftraggeber einen gesamten mittleren Fehler pro Kilometer doppeltes Nivellement von 0,7 mm gewährleistet hatte, handelte es sich hier um ein Nivellement erster Ordnung, bei dem auf höchste Genauigkeit zu achten war. Da diese Arbeit von einem Privatbüro ausgeführt wurde, war dies gleichzeitig eine Gewähr dafür, daß man diese Genauigkeit ohne zuviel Zeitverlust zu erreichen suchte, was aber bei Genauigkeitsarbeit jedoch niemals ganz zu umgehen ist. Auf Grund dieser Erwägungen stellte ich gerne das oben genannte Lattenpaar zur Verfügung, und nahm das Angebot gern an, um auf diese Weise die Brauchbarkeit der Latten in der Praxis zu prüfen.

Bezüglich Ausführung und Ergebnisse teilte Schermerhorn mir folgendes mit:

Als Instrument wurde ein Nivellier der Firma F. W. Breithaupt & Sohn, wie es in der Zeitschrift *De Ingenieur 1922, Nr. 3,* und im Jahrgang *1922 der Zeitschrift für Vermessungswesen* beschrieben ist. Das Fernrohr hat ein Objektiv von 41 mm Öffnung und 510 mm Brennweite. Die Fernrohrvergrößerung ist 40fach. Die Wendelibelle hatte einen Winkelwert von 5 Sekunden pro Par. Linie. Fernrohr und



Fernrohrträger mit Umdrehungsachse konnten mit Hilfe eines Bügels, der mit einem Griff versehen war, aus dem Untersatz genommen werden. Dies ist also mit der schon früher für Grubentheodoliten angewendeten Steckhülse-Vorrichtung zu vergleichen.

Die Latten waren in besonders dafür konstruierte Stative derartig aufgestellt, daß man sicher war, daß die Latte niemals durch den Winddruck aufgehoben werden konnte. Die Untersätze waren abwechselnd lose und fest. Die losen Untersätze waren die schon früher genannten von Carl Zeiss. Als feste Untersätze wurden kurze eiserne Stäbe von ungefähr 1 cm Durchmesser und 20 cm Länge verwendet.

In der ganzen Messung ist das Prinzip der Hin- und Rückmessung durchgeführt. Dazu ist u. a. auch immer zuerst auf derselben Latte abgelesen worden. Dies war sehr leicht möglich, weil die eine Latte schwarz und die andere rot war. In jedem Standpunkt las man also abwechselnd zuerst auf der Vorder- und Hinterlatte ab. Für jeden Standpunkt war das Beobachtungsprogramm folgendes:

Mit Libelle unten auf schwarzer Latte,
" " " " roter "
" " oben " " "
" " " " schwarzer " .

Dabei wurde jedesmal bei einspielender Libellenblasse auf der Latte abgelesen mit Abschätzung von Bruchteilen eines Millimeters.

Bei dem Instrument waren immer drei Personen anwesend, wovon eine alle Lattenablesungen verrichtete; die zweite stellte die Libellenblase ein, und die dritte machte die Aufzeichnungen. Außer diesen drei Personen waren noch drei Gehilfen anwesend.

Es wurde immer mit ein und demselben Instrument gearbeitet, ferner mit zwei Instrumentstativen mit Stellschrauben, zwei Latten und drei Lattenstativen. War alles für die Beobachtung im ersten Standpunkt aufgestellt, so wurde vom zweiten Gehilfen das Instrumentstativ im nächsten Standpunkt aufgestellt, der folgende Untersatz eingeschlagen und das dritte Lattenstativ aufgestellt. Inzwischen waren die Beobachtungen im ersten Standpunkt beendigt, der Hauptgehilfe brachte die Latte mittels eines Fahrrades nach vorn und stellte diese in dem schon vorhandenen Stativ auf. Der dritte Gehilfe brachte Lattenstativ und Instrumentstativ von hinten zu dem zweiten Gehilfen. Der Beobachter hatte dann schon das Instrument mittels des Bügels mitgenommen. Der Libellenbeobachter, auch auf einem Fahrrad, drehte die Vorderlatte um 180 Grad und stellte sie aufs neue auf, während der Feldbuchführer für den Transport des Sonnenschirmes und der Bretter Sorge trug, auf welchen die Beobachter beim Instrument standen. Kamen die beiden letztgenannten Personen auf dem neuen Standpunkt an, so fanden sie dort alles fertig für die folgenden Beobachtungen.

Die Entfernung vom Instrument bis zur Latte änderte sich von 20 m bei starken Neigungen, bis 175 m unter günstigen Gelände- und Witterungsbedingungen. Bei dem sehr starken Luftzittern, mit welchem man öfters zu kämpfen hatte, wurde die Entfernung bis auf 60 m reduziert. Bei stark bewölktem Himmel wurde mit Entfernungen von 90 bis 100 m gearbeitet.

Das Nivellement begann in Maastricht am 9. August, und am 31. August waren 51,6 km doppelt nivelliert. Hiervon waren 19 Arbeitstage, so daß die Tagesleistung im Durchschnitt 5,4 km betrug. Die notwendigen Wiederholungen sind


Digitized by Google

darin inbegriffen. Sie beziehen sich aber nur auf einige Kilometer. Die höchste Tagesleistung war 10 km. Bei der Beurteilung hat man aber zu bedenken, daß das Anbringen der Bolzen und Marken während des Nivellements viel Verzögerung verursacht hatte. Es hat sich denn auch als erwünscht herausgestellt, diese im voraus anzubringen. Weiter ist noch zu bemerken, daß die für Aufstellung und Beobachtung in einem Standpunkt nötige Zeit im Zusammenhang mit der Entfernung von Instrument bis Latte und von der Arbeitszeit pro Tag, zu einer viel zu großen Tagesleistung führen würde.

Dies hat sich auch herausgestellt beim Nivellement durch eine gleichartige Gruppe, die mit einem Instrument Zeiss IIIa und Zeiss-Invarlatten ausgerüstet war und die am 7. August in Venlo in der Richtung Maastricht anfing und dabei nach demselben Programm arbeitete. Am 30. August hatte diese Gruppe 28.5 km vollendet, was also nur 55% der Leistung der ersten Gruppe in derselben Zeit bedeutet. Für die Beurteilung der erzielten Genauigkeit verweisen wir auf beigegebene Übersicht (Tabelle 7).

Tabelle 7.

Gruppe	Schleife von	Schleife nach	$L=[a]$ in km	$S=[v]$ in dmm	n	$\left[\frac{vv}{4a}\right]$	$[vv]$	$[aa]$	$\frac{S^2}{L}$
I	Maastricht	Meerssen	7,46	+36	7	243	934	9,44	174
	Meerssen	Beek	7,73	+82	9	454	2212	8,77	870
	Beek	Sittard	8,99	+43	10	238	887	9,16	205
	Sittard	Pey	12,64	−14	8	100	1002	25,21	16
	Pey	Linne	9,61	−37	8	143	773	13,95	142
	Venlo	Straelen	6,26	−46	5	312	913	5,84	338
			52,69	+64	46	1490	6721	72,37	1745
II	Linne	Roermond	3,74	− 6	4	149	458	3,93	10
	Roermond	Swalmen	4,98	+ 5	6	203	335	4,53	5
	Swalmen	Reuver	6,79	−28	7	288	1028	7,75	115
	Reuver	Belfeld	3,71	−11	3	50	257	4,71	33
	Belfeld	Tegelen	5,25	−22	6	78	202	6,29	92
	Tegelen	Venlo	4,03	−22	6	97	306	3,01	120
			28,50	−84	32	865	2586	30,22	375
			81,19	−20	78	2355	9307	102,59	2120

Mittlere Fehler pro km doppeltes Nivellement	Berechnet aus	Gruppe I	Gruppe II	I + II
total $= m_1$	$m_1^2 = \frac{1}{[n]}\left[\frac{vv}{4a}\right]$	5,7	5,2	5,5
zufällig $= \eta$	$\eta^2 = \frac{1}{4}\left\{\frac{[vv]}{[L]} - \frac{[aa]}{[L]^2}\left[\frac{S^2}{L}\right]\right\}$	4,5	4,4	4,5
regelmäßig $= \sigma$	$\sigma^2 = \frac{1}{4[L]}\left[\frac{S^2}{L}\right]$	2,9	1,8	2,5

Die mittleren Fehler sind darin aus den Unterschieden zwischen Hin- und Rückgang für jede Sektion berechnet, und zwar nach den Formeln I und II des Beschlusses der 17. Allgemeinen Versammlung der Internationalen Erdmessung von 1912.

Die Einteilung in Schleifen ist nach den auf dem Wege vorhandenen alten Marken gewählt. Man sieht, daß die gesamten mittleren Fehler pro Kilometer für Gruppe I und II ziemlich gleich sind und unter den garantierten 0,7 mm pro Kilometer bleiben. Gleichzeitig fällt es auf, daß in Gruppe I ein ziemlich starker regelmäßiger Fehler auftritt, der auch für Gruppe II in geringerem Maße gilt. In Sittard wurde das Instrument gereinigt und neu justiert, und gerade dort änderte sich der

Digitized by Google

Charakter des Fehlers. Vermutlich liegt die Ursache gleichzeitig an den Arbeitsmethoden und am Instrument, was noch näher untersucht werden muß. Aus den erzielten mittleren zufälligen Fehlern von 0,45 mm pro Kilometer geht ganz bestimmt die Brauchbarkeit von Skala C für Genauigkeitsnivellements hervor. Dazu kommt noch, daß die Teilung eine Arbeitsmethode mit großer Zielweite ermöglicht und demzufolge größere Ersparnis an Zeit und Kosten verursacht.

So weit die Mitteilungen des Herrn Schermerhorn bezüglich seiner so gut gelungenen Messungen in Süd-Limburg.

Untersuchung von Skala C für indirekte Entfernungsmessung.

Es war ferner noch erwünscht, zu bestimmen, welche Genauigkeit bei indirekter Entfernungsmessung unter Verwendung von Skala C zu erreichen war.

Um ein Stativ herum, auf welchem ein Theodolit mit Fernrohr von 30-facher Vergrößerung aufgestellt war, wurden fünf Pikette auf durchschnittlich 95 m Entfernung in den Boden geschlagen. Auf jedem der Pikette wurde hintereinander ein hölzernes Blöckchen gesetzt, in welchem die Latte derartig paßt, daß eine der vertikalen Linien der Teilung nach Aufstellung der Latte gerade mit der Mitte des Pikettes übereinstimmte. Die Aufstellung der Latte fand mit Hilfe einer Dosenlibelle in einem Stativ, wie früher S. 393 beschrieben, statt.

Nachdem das Fernrohr in horizontaler Lage ungefähr auf die Latte eingestellt war, wurde an den Distanzfäden abgelesen. Darauf wurden zwei neue Ablesungen gemacht, nachdem das Fernrohr mittels der Mikrometerschraube ein wenig aus der horizontalen Lage gebracht worden war. Danach stellte der Beobachter das Fernrohr scharf ein auf die Linie, welche mit der Mitte des Pikettes übereinstimmt, und zwar möglichst niedrig in der Nähe des Fußes der Latte. Während der Beobachter den Horizontalkreis des Instrumentes ablas, stellte der Gehilfe die Latte auf das folgende Pikett auf. Die Beobachtungen wurden in einer Reihe in Hin- und Rückgang gemacht, wobei nach der Hälfte das Fernrohr durchgeschlagen wurde und der Kreis um 90^0 gedreht wurde. Nach Beendigung der Beobachtung wählte der Beobachter einen zweiten Standpunkt in ungefähr 10 m Entfernung vom ersten und wiederholte die Messungen nach genau demselben Verfahren.

Nachdem die Beobachtungen berechnet und die Konstanten des Instrumentes bestimmt waren, wurde für jeden der Standpunkte ein Achsenkreuz gewählt. Darin wurden die Koordinaten der fünf Punkte des Polygons bis auf Millimeter berechnet und aus diesen die zehn möglichen Richtungen und Entfernungen für jede Kombination von zwei Punkten. Diese Richtungen und Entfernungen in beiden Systemen geben einen guten Einblick in die erzielte Genauigkeit; die Resultate sind in Tabelle 8 aufgenommen. Die Übereinstimmung ist gut zu nennen, wenn man im Auge behält, daß die Beobachtungen Anfang April zwischen 2 und 4 Uhr nachmittags in offenem Gelände bei starker Luftzitterung stattfanden. Die Temperatur wurde nachmittags sehr viel niedriger. Es erhebt sich die Frage, ob dies die Ursache davon sein könnte, daß die Resultate der zweiten Beobachtung fast alle im selben Sinne von denjenigen der ersten Messung abweichen.

Die Dauer einer einzelnen Hin- und Rückmessung einer Reihe, bei welcher eine Latte verwendet wurde, war ungefähr 45 Minuten. Das Versetzen der Latte bringt ziemlich viel Zeitverlust mit sich. Anfang Mai ist ein zweites Polygon in genau derselben Weise gemessen worden; nur sind dabei zwei Latten verwendet. Die


Digitized by Google

Tabelle 8.

	Azimuth		II — I	Entfernung a		v in mm
	1. Beobachtg. I	2. Beobachtg. II		1. Beobachtg.	2. Beobachtg.	
AB	105° 54′ 56″	112° 0′ 38″	6° 5′ 42″	64,721	64,756	— 35
AC	154 14 3	160 23 16	6 9 13	168,924	168,918	+ 6
AD	191 2 46	197 11 15	6 8 29	184,998	185,030	— 32
AE	226 41 35	232 50 45	6 9 10	134,893	134,955	— 62
BC	175 14 24	181 25 5	6 10 41	134,846	134,890	— 44
BD	210 48 25	216 57 5	6 8 40	190,736	190,826	— 90
BE	245 0 21	251 8 37	6 8 16	176,973	177,102	— 129
CD	254 52 5	260 59 44	6 7 39	112,786	112,765	+ 21
CE	289 9 20	295 17 24	6 8 4	181,648	181,671	— 23
DE	324 50 36	330 57 46	6 7 10	108,915	108,954	— 39

Tabelle 9.

	Azimuth		II — III	Entfernung a		v in mm
	1. Reihe I	2. Reihe II		1. Reihe	2. Reihe	
AB	135° 6′ 10″	137° 37′ 5″	2° 30′ 55″	93,037	93,022	+ 15
AC	156 6 6	158 37 5	2 30 59	184,692	184,647	+ 45
AD	189 52 11	192 23 45	2 31 34	200,359	200,328	+ 31
AE	215 59 17	218 32 53	2 33 36	128,885	128,862	+ 23
BC	174 55 12	177 25 58	2 30 46	103,358	103,343	+ 15
BD	217 15 25	219 46 37	2 31 12	165,202	165,196	+ 6
BE	254 48 51	257 21 15	2 32 24	146,520	146,549	— 29
CD	255 21 0	257 51 55	2 30 55	112,832	112,844	— 12
CE	293 12 49	295 44 5	2 31 16	163,819	163,877	— 58
DE	336 1 55	338 32 17	2 30 22	101,894	101,946	— 52

Resultate, in Tabelle 9 aufgenommen, sind besser als die des ersten Polygons, was zu erwarten war. Nicht nur war die Zeit der Beobachtung während der Abendstunden günstiger, weil keine Luftzitterung da war, auch ließ die Anwendung von zwei Latten die Beobachtungen schneller und regelmäßiger verlaufen. In dieser Weise konnten aus 45 Minuten 10 Minuten erspart werden; auch war die Temperatur nahezu konstant.

Schließlich bemerken wir noch, daß die Unterschiede ausnahmslos innerhalb der Werte bleiben, welche bei direkten Messungen in günstigem Gelände zulässig sind. Es ist selbstverständlich, daß die Genauigkeitstachymetrie die größten Vorteile auf denjenigen Geländen bietet, welche für direkte Messung ungünstig sind.

Bei den hier beschriebenen Messungen waren die Latten vertikal aufgestellt, weil die vorhandenen Latten nicht bequem für horizontale Aufstellung verwendet werden konnten, und weil die Aufstellung in vertikaler Lage auch beabsichtigt wurde, da außer Genauigkeit auch auf Schnelligkeit der Beobachtung geachtet werden mußte.

Für Polygonmessung mit indirekter Bestimmung der Längen kommt die horizontale Aufstellung von besonders dafür angefertigten Latten mehr in Frage, besonders wenn dabei drei Stative verwendet werden, die mittels Freiberger Aufstellung zentrisch über die drei aufeinander folgenden Punkte gestellt sind. Theodolit und Latten sind dabei sehr leicht umwechselbar.

Digitized by Google

Die Chronometer-Spirale mit Klemmstücken nach Vetterlein.

Von
H. Bock in Hamburg.

Das Problem besteht darin, die Schwingungen der freien Unruh isochronisch zu machen. Dabei wird von Reibung und Hebung einerseits sowie von der Spiralenmasse andrerseits zunächst abgesehen. Der erste Fall ohne diese Vernachlässigung ist von mir unter Voraussetzung des Isochronismus der freien Unruh in *dieser Zeitschr.* **42.** *S. 317, 1922,* der andere *ebenda* **44.** *S. 22. 1924* näher behandelt.

Hier handelt es sich also nur um die Ermittlung derjenigen Spiralenform, die die freie Schwingung isochronisch gestaltet. Bekannt ist die Lösung der Aufgabe durch Phillips (*Mémoire 1861*; Enzyklop. d. mathem. Wissensch. **6.** *S. 179*), weniger bekannt die mir etwas zweifelhaft erscheinende Lösung von Pierre le Roy und Berthoud durch passende Wahl der Spiralenlänge (vgl. das Referat von Caspari in der Enzyklopädie l. c.).

Da die neue Lösung durch Vetterlein mit der Phillipsschen theoretisch Ähnlichkeit besitzt und auf denselben Grundlagen ruht, so möge der Hauptgedankengang kurz rekapituliert werden.

1. Das allgemeine Bewegungsgssetz der freien Unruh.

Seien x und y in Fig. 1 die Komponenten des Achsendruckes der Unruh, wie sie von ihr auf die zylindrische Spirale ausgeübt werden; sei weiter M_0 das Einspannungsmoment, welches die Spirale am Klöbchen erleidet. Dann erfährt die Klingenstelle P ein Biegungsmoment von der Stärke:

$$M = M_0 + x \cdot Y - y \cdot X, \qquad 1)$$

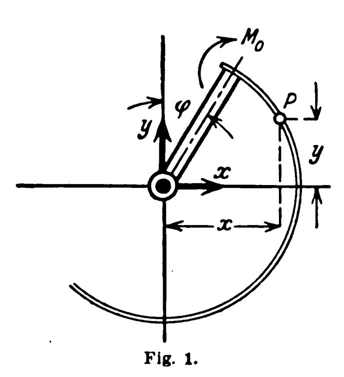


Fig. 1.

wobei vorgestellt ist, daß die eben gedachte Spirale um den Winkel φ auseinandergerollt sei. Die Einschränkung auf eine ebene Spiralenform ohne Schraubensteigung bedeutet übrigens einen ungünstigen Fall; denn bei Mitberücksichtigung der Schraubenform träte zwar Torsions-Beanspruchung ein, aber gerade dadurch würden die Kräfte X und Y verringert. Hierauf kommt es aber an, wie wir gleich sehen werden.

Versteht man unter $d\alpha$ den Kontingenzwinkel zwischen den Tangenten, die an die Enden des bei P belegenen Klinkenstüskchens dl angelegt sind, so ist nach der Lehre von der Deformation sehr dünner, relativ wenig gekrümmter Balken der Zuwachs des Kontingenzwinkels infolge des Momentes M:

$$\delta d\alpha = -\frac{M_0 + x \cdot Y - y \cdot X}{E \cdot J} \cdot dl. \qquad 2)$$

E bedeutet hierin den Elastizitätsmodul und J das äquatoriale Flächenträgheitsmoment der Klinge.

Also ergibt sich der Winkelzuwachs zwischen den Endtangenten der ganzen Spirale von der Länge l durch Integration über alle Elementarzuwüchse:

$$\Delta\alpha = -\frac{M_0 \cdot l + Y \cdot \int x \cdot dl - X \cdot \int y \cdot dl}{E \cdot J}. \qquad 3)$$

Digitized by Google

Das ist aber der negative Verdrehungswinkel der Unruh selbst:

$$E \cdot J \cdot \varphi = M_0 \cdot l + Y \cdot \xi \cdot l - X \cdot \eta \cdot l, \tag{4}$$

worin unter ξ und η die Schwerpunktskoordinaten der ganzen Spirale zu verstehen sind.

Das zurückdrehende Kräftepaar aber, welches die Unruh von seiten der Spirale erleidet, ist M_0 selbst, denn X und Y gehen durch ihre Drehachse; also lautet die Bewegungsgleichung, wenn Θ das dynamische Trägheitsmoment des schwingenden Systems darstellt:

$$\Theta \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{EJ}{l} \cdot \varphi = Y \cdot \xi - X \cdot \eta. \tag{5}$$

Wäre die rechte Seite der Gleichung 5) null, so hätten wir die gewöhnliche Schwingungsgleichung, die eine von der Amplitude unabhängige, d. h. isochronische Schwingung liefert von der Dauer:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\Theta \cdot l}{E \cdot J}}. \tag{6}$$

Es gilt also jetzt, das Störungsglied zum Verschwinden zu bringen.

2. Die Lösung durch Endkurven.

a) Phillips sorgt durch Anbringung von Endkurven dafür, daß die Koordinaten ξ und η null und außerdem Invarianten der Deformation sind. Werden die Endkurven in erster Näherung als starr betrachet, so ergibt sich für eine beliebige Verdrehung $\varphi = 2\alpha$ die in Fig. 2 skizzierte Situation, wobei unbeschadet der Allgemeinheit die Halbierungslinie des Deformationswinkels als Ordinatenachse gewählt ist. Denn es handelt sich ja um ein statisches Problem. Die y-Achse ist jetzt als Symmetrale ohne weiteres Schwerlinie; damit es auch die x-Achse sei, müssen die Teilschwerpunkte S der Endkurven von der Länge λ die Bedingung erfüllen:

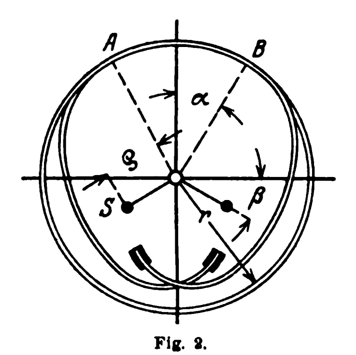


Fig. 2.

$$r^2 \cdot \int_0^\alpha \cos \alpha \cdot d\alpha = \lambda \cdot \varrho \cdot \sin \beta, \tag{7}$$

denn das Spiralenstück AB ist ja oben einmal öfter vorhanden als unten. Damit aber die Gleichung

$$r^2 \cdot \sin \alpha = \lambda \cdot \varrho \cdot \sin \beta \tag{8}$$

identisch erfüllt sei, muß einmal $\alpha = \beta$ und weiter $r^2 = \lambda \cdot \varrho$ sein; denn $\alpha - \beta$ ist eine konstruktive Konstante. Das sind die beiden Phillipsschen Bedingungen; die erste besagt, daß der Fahrstrahl nach dem Anschlußpunkte A und der nach S einen Rechten bilden müssen; die zweite bestimmt die Größe von ϱ. Die Invarianz der Schwerpunktslage gilt nun übrigens auch für die Schraubenform der Spirale, was leicht einzusehen ist.

b) Das Störungsglied aus 5) fällt auch dann weg, wenn die beiden Kräfte X und Y identisch zum Verschwinden gebracht werden, das heißt, wenn man die Endkurven so gestaltet, daß sie dem „Atmen" der Spirale (ihrer Durchmesser-Variation) keinen Zwang antun können. Daß die Phillipssche Form auch diese Bedingung sehr genähert erfüllt, habe ich in Nr. 44 dieser Zeitschrift vom Januar 1924 durch approximative Betrachtung der Deformationen kurz auseinander gesetzt. Auf ähnliche Weise soll jetzt die Vetterleinsche Anordnung untersucht werden.


Digitized by Google

3. Die Dauerzentrierung der Spirale nach Vetterlein.

Vetterlein beschreitet neue Wege und setzt auf die Spiralenenden leichte starre Klemmstücke, die die von ihnen umspannten Klingenteile von der Verbiegung ausschließen. Durch zweckmäßige Wahl ihrer Länge und Lage läßt sich erreichen, daß sich die Klingenenden dem Atmen des zylindrischen Spiralenteiles jederzeit ohne Zwang anschließen, womit die störenden Zwangskräfte X und Y verschwinden.

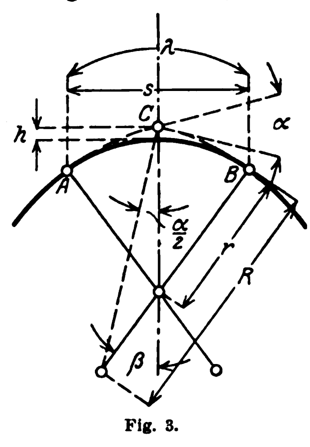


Fig. 3.

Eine Spirale vom Ruheradius r werde durch ein Moment dermaßen deformiert, daß r bis auf den Wert R zunimmt. Ist nun nach Fig. 3 ein Stück AB von der Länge λ durch Aufsatz der Klemme undeformierbar gemacht, so schneiden sich jetzt die beiden verlängert gedachten deformierten Enden im Punkte C unter dem Winkel α. Es ist:

$$\frac{\sin\frac{\alpha}{2}}{\sin\beta} = \frac{R-r}{R}, \tag{9}$$

und dieser Wert ist nach *dieser Zeitschr.* **44.** *S. 24. 1924* gleich $\frac{r}{l}\cdot\varphi$, worin l die ganze Klingenlänge und φ der Verdrehungswinkel der Unruh ist. Somit wird wegen der Kleinheit von α:

$$\alpha = \frac{2\,r\,\varphi}{l}\sin\beta \tag{10}$$

oder:

$$\alpha = \frac{s}{l}\cdot\varphi, \tag{11}$$

wobei s die Länge der Sehne AB.

Der Abstand h des imaginären Gelenkes C ergibt sich genähert so:

$$h + r = R - (R - r)\cdot\cos\beta \qquad \text{oder:} \qquad h \sim \frac{\lambda^2\cdot\varphi}{8\cdot l}. \tag{12}$$

h ist also eine kleine Strecke; man begeht daher einen Fehler, der klein höherer Ordnung ist, wenn man als gegenseitigen Drehpunkt der beiden deformierten Spiralenteile die Mitte des eingeklemmten Stückes ansieht.

Fig. 4 zeigt eines der beiden Spiralenenden schematisch, und zwar gestrichelt vor der als Aufrollung vorgestellten Formänderung, strichpunktiert nach der Deformation mit abgenommen gedachten Klemmen und ausgezogen in endgültiger Form nach Aufbringung der letzteren. Eine solche Superposition zweier Teildeformationen ist deshalb zulässig, weil die Formänderungen so klein sind, daß sie als voneinander unabhängig angesehen werden können.

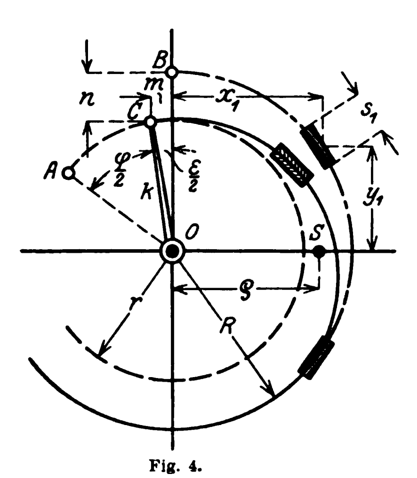


Fig. 4.

Die Vergrößerung des Radius hängt, wie bekannt, mit der Unruhdrehung durch die Beziehung zusammen:

$$R = \frac{r}{1 - \frac{r}{l}(\varphi + \varepsilon)}, \tag{13}$$

Digitized by Google

wobei wir uns wieder vorstellen, daß die Bewegung auf beide Klingenenden gleichmäßig verteilt gewesen sei, so daß die Halbierungslinie des Winkels zwischen den zwei nach den Enden gezogenen Strahlen ihre Lage unverändert beibehalten hat. Das auf solche Weise nach B gelangte Klingenende muß nunmehr durch die Aufbringung der starren Klemmen nach C zurückbefördert werden, denn das Klöbchen k hat ja seine Länge nicht verändert; und außerdem muß die zurückgebogene Klinge den mit r geschlagenen Kreis in C berühren, weil sie in k fest eingespannt ist. Sind diese Bedingungen erfüllt, so erfolgt die Spiralentätigkeit ohne die Zwangskräfte X und Y, und sämtliche Spiralenformen während des Deformationsvorganges bilden eine Schar konzentrierter Zylinder.

Geht man von der wenig geänderten ursprünglichen Form aus, so ergibt sich mit Rücksicht auf Gl. 11) und 12), daß das Ende B durch die Wirksamkeit der Klemmen um die Strecke:

$$m = \frac{\varphi + \varepsilon}{l} \cdot \Sigma[(r - y) \cdot s] \qquad 14)$$

nach links und um:

$$n = \frac{\varphi + \varepsilon}{l} \cdot \Sigma[x \cdot s] \qquad 14a)$$

nach unten wandert[1]). Die Summe ist über alle aufgebrachten Klemmen eines Klingenendes zu erstrecken. Mit Rücksicht auf die Kleinheit von ε muß nun sein:

$$m = r \cdot \frac{\varepsilon}{2} \qquad 15)$$

und

$$n = R - r. \qquad 16)$$

Da aber nach 11) $\frac{\varepsilon}{2} = \Sigma(\alpha) = \frac{\varphi + \varepsilon}{l} \cdot \Sigma(s)$ ist, so kommt durch Elimination von m:

$$\Sigma[(r - y) \cdot s] = r \cdot \Sigma(s). \qquad 17)$$

Weiter kommt mit Rücksicht auf 13) durch Eliminieren von n:

$$r \cdot R = \Sigma(x \cdot s); \qquad 18)$$

das gibt vereinfacht, beziehungsweise hinreichend genähert:

$$\Sigma(s \cdot y) = 0 \qquad 19)$$

und

$$\Sigma(s \cdot x) = \varrho \cdot \Sigma(s) = r^2. \qquad 20)$$

In Worten: Der Schwerpunkt S der eingeklemmten Stücke des Spiralenendes (deren Längen streng genommen an den Sehnen gemessen werden sollen) muß im Abstande $\varrho = \frac{r^2}{\Sigma(s)}$ von der Mitte auf einem Radius liegen, der mit dem zum Einspannungspunkte hinweisenden einen Rechten bildet. Die Analogie mit den Gesetzen von Phillips ist unverkennbar.

Damit wäre also das Störungsglied der Bewegungsgleichung 5) durch identisches Verschwinden von X und Y beseitigt und der Isochronismus mit hinreichender Näherung erreicht — soweit die dirigierende Kraft der Spirale in Frage kommt. Über die zweckmäßigste Anzahl der Klemmen hätte die Praxis zu entscheiden.

[1]) Der Winkel $\varepsilon = \frac{\varphi \cdot \Sigma(s)}{l - \Sigma(s)}$ ist natürlich eine Folgeerscheinung der teilweisen Erstarrung der Spirale vermöge der Klemmstücke; der wahre Ausschlag ist eben um ε kleiner, als er bei derselben Zunahme des Radius ohne Klemmen wäre.

Digitized by Google

4. Das Verhalten des Spiralenschwerpunktes bei der Vetterleinschen Konstruktion.

Während bei der Endkurvenlösung die Schwerpunktskoordinaten Deformationsinvarianten waren, liegen die Verhältnisse hier komplizierter.

Seien in Fig. 5 A und B die beiden Enden der Vetterleinschen Spirale und die S' die Schwerpunkte der zwei Klemmen oder Klemmengruppen dieser Enden. Ist weiter γ bzw. γ_1 das Gewicht der Klinge resp. der Klemmen pro Längeneinheit, so ergibt sich die Lage des Gesamtschwerpunktes der Spirale samt Klemmen mit Rücksicht auf den fehlenden Klingenbogen AB aus der Momentengleichung auf die x-Achse:

$$\eta\cdot[\gamma\cdot l+2\cdot\gamma_1\cdot\Sigma(s)]=2\cdot\varrho\cdot\gamma_1\cdot\Sigma(s)\cdot\sin\frac{\varphi}{2}+2\,\gamma\cdot r^2\int\limits_0^{\varphi/2}\cos\frac{\varphi}{2}\,d\,\frac{\varphi}{2},$$

oder gemäß 20):

$$\eta=\frac{r^2\cdot(\gamma+\gamma_1)}{\gamma\dfrac{l}{2}+\gamma_1\cdot\dfrac{r^2}{\varrho}}\cdot\sin\frac{\varphi}{2}=A\cdot\sin\frac{\varphi}{2}. \tag{21}$$

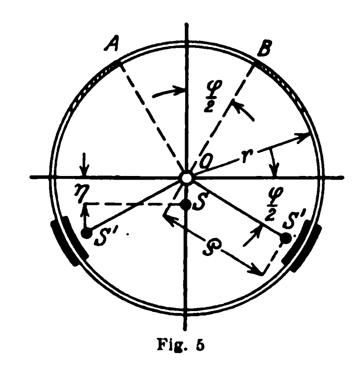


Fig. 5

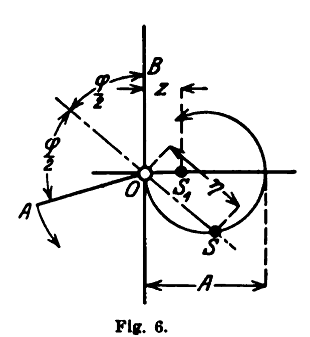


Fig. 6.

Darin ist φ der Verdrehungsbogen der Unruh, abgesehen von einer additiven Konstanten, die dann verschwindet, wenn die Spirale in der Ruhe eine ganze Anzahl von Umgängen ausmacht, was wir hier unbeschadet der Allgemeinheit voraussetzen wollen. Betrachtet man jetzt etwa B als festes Klingenende, so sieht man, wie der Gesamt-Spiralenschwerpunkt bei der Schwingung einen kleinen Kreis vom Durchmesser A beschreibt (siehe Fig. 6). Seine maximale Exzentrizität erreicht er bei 180° Ausschwung.

Diese Schwerpunktsbewegung hat nun zweierlei Folgen. Einmal macht sie, wenn die Drehachse nicht gerade senkrecht steht, die Lagenenergie des Systems von null verschieden und abhängig von der Stellung der Achse gegenüber der Richtung der Schwere, stört also die Lagenregulierung. Ferner tritt ein zusätzliches Impulsmoment von der Größe

$$J=\frac{m}{2}\cdot A^2\cdot\sin^2\frac{\varphi}{2}\cdot\frac{d\varphi}{dt} \tag{22}$$

auf, worin m die Masse der gesamten Spirale einschließlich der Klemmen ist. Denn die Tangentialgeschwindigkeit des Spiralenschwerpunktes in bezug auf 0 ist jeweils

$$\frac{A}{2}\cdot\sin\frac{\varphi}{2}\cdot\frac{d\varphi}{dt},$$

Digitized by Google

was leicht zu erkennen ist. Hierbei ist noch nicht einmal auf das Impulsmoment des Spiralensystems auf seine eigene Schwerachse Rücksicht genommen. Man sieht also, daß die Bewegungsgleichung eine Modifikation erleidet.

Diesem Übelstand kann man dadurch abhelfen, daß man den Schwerpunkt S_1 der Unruh selbst (Fig. 6) so legt, daß er die gezeichnete Lage hat in demjenigen Augenblick, wo der Spiralenschwerpunkt auf der Drehachse liegt und φ unserer Voraussetzung gemäß null ist. Dann tritt folgende interessante Sachlage ein: ist M die Masse des Unruhkörpers, so ist jetzt das statische Moment auf die x-Achse (Fig. 6):

$$M_x = m \cdot A \sin\frac{\varphi}{2} \cdot \cos\frac{\varphi}{2} - M \cdot z \cdot \sin\varphi; \tag{23}$$

es wird also null und von φ unabhängig, sofern man

$$z = \frac{m}{2 \cdot M} \cdot A \tag{24}$$

wählt.

Dann wird aber zugleich das statische Moment auf die y-Achse:

$$\left.\begin{aligned} M_y &= m \cdot A \cdot \sin^2\frac{\varphi}{2} + M \cdot z \cdot \cos\varphi, \\ M_y &= M \cdot z\,(1 - \cos\varphi) + M \cdot z \cdot \cos\varphi, \\ M_y &= M \cdot z, \end{aligned}\right\} \tag{25}$$

d. h. der Gesamtschwerpunkt des Systems hält einen zwischen 0 und S_1 in der Nachbarschaft von S_1 belegenen festen Platz inne. Damit ist die Lagenenergie für eine bestimmte, unveränderte Achsenstellung im Schwerefelde von der Zeit unabhängig geworden, und ebenso der Gesamtimpuls, der dauernd null bleibt. Als Wirkung bleibt also allein eine kleine Variation der Nullage des Systems übrig, die bloß von der Achsenstellung im Raume abhängt, und nicht vom Ausschlagwinkel der Unruh Ist τ der Winkel zwischen der Richtung der Schwere und der Unruhachse, ϑ aber der Winkel, um den die Unruh bei spannungsloser Spirale von derjenigen Lage entfernt ist, in der der Gesamtschwerpunkt am tiefsten liegt, sowie G das Gewicht der klemmenbelasteten Spirale, so beträgt die erwähnte Variation der Nullage nach einfacher statischer Überlegung:

$$\delta = \frac{1}{\operatorname{ctg}\vartheta + \frac{D}{B}}. \tag{26}$$

Darin ist D das Direktionsmoment der Spirale für den Ausschlag 1, und B hat den Wert:

$$B = \frac{G}{2} \cdot A \cdot \sin\tau \cdot \sin\vartheta.$$

δ ist ein kleiner Wert, dessen Einfluß auf den Gang sich in derjenigen Weise bemerkbar macht, wie ich es in *Nr. 42 dieser Zeitschr.* **22**, *S. 324 u. ff.* als „unsymmetrische Hebung“ beschrieben habe.

5. Die Bewegungsgleichung der Vetterleinschen Unruh.

Wir beschränken uns auf folgenden Fall: die Spiralenmasse werde vernachlässigt, desgleichen die dem festen Klingenende benachbarten, wenig bewegten Klemmen, während um 90° vom beweglichen Ende entfernt eine einzige Vetterlein-Klemme aufgesetzt sein möge. Es handelt sich also nur um die Feststellung des Einflusses, den deren Masse μ auf die Schwingungsdauer ausübt.


Digitized by Google

Die Tangentialgeschwindigkeit v_t der Klemme ist um ein geringes kleiner als die des beweglichen Spiralenendes selbst:

$$v_t = \left(1 - \frac{1}{4n}\right) \cdot r \cdot \frac{d\varphi}{dt}, \tag{27}$$

worin n die Zahl der Spiralengänge; denn $^1/_4$ Umgang ist der $4 \cdot n$-te Teil der ganzen Klingenlänge bis zum festen Ende. Die Radialgeschwindigkeit dagegen ist nach 13) unter Vernachlässigung von ε:

$$v_1 = \frac{dR}{dt} = -\frac{r^2}{l\left(1 - \frac{r}{l} \cdot \varphi\right)^2} \cdot \frac{d\varphi}{dt}; \tag{28}$$

mithin ist die kinetische Energie der Unruh vom Trägheitsmoment Θ samt der des Klemmstückes:

$$L = \frac{\Theta}{2}\left\{1 + \frac{\mu \cdot r^2}{\Theta}\left[\left(1 - \frac{1}{4 \cdot n}\right)^2 + \frac{r^2}{l^2}\left(1 - \frac{r}{l}\varphi\right)^{-4}\right]\right\} \cdot \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2. \tag{29}$$

Entwickelt man wegen der Kleinheit von $\frac{\mu \cdot r^2}{\Theta}$ binomisch und vernachlässigt in passender Weise, so gelangt man wieder auf die in *Nr. 44 dieser Zeitschr., 1924, S. 25* und *26* behandelte Quadratur mit zweideutigem Integral, mit deren Hilfe dort gezeigt wurde, daß die Schwingungsdauer die Form annimmt:

$$T = T_0 \cdot (1 + c_1 \cdot \overline{\varphi}^2) \cdot c_2, \tag{30}$$

d. h. die ohne μ statthabende Dauer erfährt nicht nur durch c_2 eine konstante Ver-Vermehrung, sondern es tritt auch eine geringe Störung des Isochronismus ein, und zwar in dem Sinne, daß die Schwingungszeit mit der Amplitude $\overline{\varphi}$ um ein geringes wächst. — Die Wirkung der Klemmstücke ist also in dieser Hinsicht die gleiche wie die der Spiralenmasse selbst. Das war ja auch vorauszusehen. Hier besteht allerdings die Möglichkeit, durch Veränderung des Klemmengewichtes auf die sekundären Erscheinungen korrigierend einzuwirken.

Der Hauptvorteil der Vetterleinschen Erfindung ist jedenfalls, daß sie das gefährliche, die Struktur ändernde Biegen der Klingenenden überflüssig macht.

Analytische Untersuchung über die Bildlage bei beliebig im Raume stattfindenden ebenen Spiegelungen.

Von
Dr. **Max Lange** †.

Vorbemerkung der Schriftleitung. Wir bringen im nachfolgenden einen Abdruck der letzten Abhandlung unseres am 21. Nov. 1923 in Japan verschiedenen Mitarbeiters Dr. Max Lange, die in den *Procedings of the Physico-Mathematical Society of Japan* (*3. Ser. Vol. V. No. 3*) erschienen ist.

Max Lange hat 12 Jahre lang der Optischen Anstalt C. P. Goerz A.-G. in Berlin als wissenschaftlicher Mitarbeiter angehört und dort vor allem auf dem Gebiet der Periskop-Berechnungen wichtige Anregungen gegeben. 1920 folgte er einem Rufe nach Japan, fand aber dort keine Erfüllung seiner Hoffnungen. Dem Klimawechsel und den Schwierigkeiten der neuen Verhältnisse war Langes Gesundheit nicht gewachsen. Die seelischen Einwirkungen des großen Erdbebens beschleunigten sein Ende.

Seine deutschen Freunde und Fachgenossen werden dem stillen geistvollen Manne treues Gedenken bewahren.


Digitized by Google

Ein Strahl habe vor der Spiegelung die Richtungskosinus x, y, z, nach ihr x', y', z'. Dann lassen sich die Größen t, α, β, γ, wo α, β, γ wieder Richtungskosinus sein sollen, so bestimmen, daß

$$x' = x + t\alpha, \qquad 1)$$

$$y' = y + t\beta, \qquad 2)$$

$$z' = z + t\gamma. \qquad 3)$$

Im folgenden ist zu beachten, daß immer die Summe der Quadrate von zusammengehörigen Richtungskosinussen gleich eins ist. Der Kosinus des Winkels, den zwei Richtungen miteinander einschließen, soll der Kürze halber durch das Nebeneinanderschreiben ihrer in großen lateinischen Buchstaben geschriebenen Namen bezeichnet werden. Der Strahl vor der Spiegelung heiße S, nach der Spiegelung S', die durch (α, β, γ) gegebene Richtung F. Multiplizieren wir 1) mit x', 2) mit y', 3) mit z' und addieren, so erhalten wir

$$1 = \mathrm{SS'} + t\,\mathrm{FS'}. \qquad 4)$$

Führen wir die entsprechende Operation mit x, y, z und schließlich mit α, β, γ aus, so folgen die weiteren Gleichungen

$$\mathrm{SS'} = 1 + t\,\mathrm{FS}, \qquad 5)$$

$$\mathrm{FS'} = \mathrm{FS} + t. \qquad 6)$$

Daraus folgt

$$\mathrm{FS'} = -\mathrm{FS}, \qquad 7)$$

$$t = -2\,\mathrm{FS} = +2\,\mathrm{FS'}. \qquad 8)$$

Die geometrische Interpretation dieses Ergebnisses ist einfach. Denken wir uns S zum Treffpunkt mit dem Spiegel hin, S' von ihm weg gerichtet, so ist offenbar F die Winkelhalbierende des von ihnen eingeschlossenen Winkels, d. h. die Normale der spiegelnden Fläche. Sind x, y, z und x', y', z' bekannt, und machen wir der Einfachheit halber die zulässige Annahme, daß sämtliche Richtungen durch den Nullpunkt gehen, so läßt sich die Gleichung der Spiegelfläche sofort hinschreiben: (X, Y, $Z =$ Punktkoordinaten!)

$$X(x - x') + Y(y - y') + Z(z - z') = 0. \qquad 9)$$

Wir nehmen nun auf S eine zu S senkrechte (Bild-) Richtung N an, die durch die Fläche in die zu S' senkrechte N' gespiegelt wird. Die Richtungskosinus seien a, b, c bzw. a', b', c'.

Die Tatsache der Spiegelung wird durch die Gleichungen ausgedrückt:

$$a' = a + p\,(x - x'), \qquad 10)$$

$$b' = b + p\,(y - y'), \qquad 11)$$

$$c' = c + p\,(z - z'), \qquad 12)$$

wo p eine noch näher zu bestimmende Größe ist. Die anfangs beschriebene Operation nehmen wir an diesen Gleichungen der Reihe nach mit (a', b', c'), (a, b, c), (x, y, z), (x', y', z') vor und erhalten

$$1 = \mathrm{NN'} + p\,\mathrm{SN'}, \qquad 13)$$

$$\mathrm{NN'} = 1 - p\,\mathrm{NS'}, \qquad 14)$$

$$\mathrm{SN'} = p\,(1 - \mathrm{SS'}), \qquad 15)$$

$$0 = \mathrm{NS'} + p\,(\mathrm{SS'} - 1); \qquad 16)$$

daraus folgt:

$$\mathrm{SN'} = \mathrm{NS'}, \qquad 17)$$

$$p = \frac{\mathrm{NS'}}{1 - \mathrm{SS'}}. \qquad 18)$$

Digitized by Google

Mit 18) haben wir die Rekursionsformel gewonnen zur Berechnung von N' bei gegebenem S, N, S'.

Die vereinfachte Schreibweise soll jetzt verlassen und das Rekursionsformelsystem noch einmal genau hingeschrieben werden. Dabei ist zunächst vorausgesetzt, daß S, N und S' bekannt sind.

$$\mathrm{NS}' = ax' + by' + cz', \tag{19}$$
$$\mathrm{SS}' = xx' + yy' + zz', \tag{20}$$
$$p = \frac{\mathrm{NS}'}{1 - \mathrm{SS}'}, \tag{21}$$
$$a' = a + p(x - x'), \tag{22}$$
$$b' = b + p(y - y'), \tag{23}$$
$$c' = c + p(z - z'). \tag{24}$$

Ist S, N und F gegeben, so ist

$$t = -2(\alpha x + \beta y + \gamma z), \tag{25}$$
$$x' = x + t\alpha, \tag{26}$$
$$y' = y + t\beta, \tag{27}$$
$$z' = z + t\gamma. \tag{28}$$

Die vorstehenden Formelm sollen an einer Zahl von Beispielen auf ihre praktische Brauchbarkeit untersucht werden.

1. Beispiel: Fall der einmaligen Spiegelung mit Ablenkung um 90°. Wir wählen den ersten Strahl in der Richtung der positiven X-Achse, den zweiten in der Richtung der positiven Y-Achse. Dann ist

$$x = 1, \quad y = 0, \quad z = 0;$$
$$x' = 0, \quad y' = 1, \quad z' = 0.$$

Nehmen wir für N:

$$a = 0, \quad b = 0, \quad c = 1,$$

so wird

$$\mathrm{NS}' = 0,$$

und N' mit N identisch. Anderseits, für

$$a = 0, \quad b = 1, \quad c = 0,$$

wird

$$\mathrm{NS}' = 1, \quad \mathrm{SS}' = 0, \quad p = 1,$$

und

$$a' = 1, \quad b' = 0, \quad c' = 0.$$

Die Spiegelfläche hat die Gleichung

$$X - Y = 0.$$

2. Beispiel: Es soll die Gesamtheit aller Doppelspiegel gesucht werden, die dasselbe leisten, wie das bekannte Dachkantprisma.

In diesem Falle führen wir eine fortlaufende Bezeichnung x_1, x_2, x_3 usw. ein und setzen

$$x_1 = 1, \quad y_1 = 0, \quad z_1 = 0;$$
$$x_2 = x, \quad y_2 = y, \quad z_2 = z;$$
$$x_3 = 0, \quad y_3 = 0, \quad z_3 = 1;$$

und

$$a_1 = 0, \quad b_1 = 0, \quad c_1 = 1.$$

Digitized by Google

Die zu stellende Forderung lautet unter dieser Annahme:

$$a_3 = 1, \qquad b_3 = 0, \qquad c_3 = 0.$$

Die Rechnung ergibt

$$N_1 S_2 = z, \qquad S_1 S_2 = x, \qquad p = \frac{z}{1-x};$$

$$a_2 = z, \qquad b_2 = -\frac{yz}{1-x}, \qquad c_2 = 1 - \frac{z^2}{1-x};$$

$$N_2 S_3 = \frac{1-x-z^2}{1-x}, \qquad S_2 S_3 = z, \qquad p = \frac{1-x-z^2}{(1-x)(1-z)};$$

$$a_3 = z + \frac{x(1-x-z^2)}{(1-x)(1-z)} = 1,$$

$$b_3 = y\frac{(1-x-z)}{(1-x)(1-z)} = 0,$$

$$c_3 = 0.$$

Aus der Gleichung für a_3 folgt nach einigen Umformungen

$$(1-x-z)^2 = 0,$$

d. h.

$$z = 1 - x,$$

wodurch auch der Gleichung für b_3 genügt wird.

Die Gleichungen der beiden Flächen lauten

$$X(1-x) - Y \cdot y - Z(1-x) = 0,$$
$$X' \cdot x \quad + Y' \cdot y - Z' \cdot z \quad = 0.$$

Die Schnittgerade dieser beiden Ebenen ist die Gerade

$$Y = 0,$$
$$X = Z.$$

Ferner stehen die beiden Ebenen senkrecht aufeinander. Unter Einhaltung der letzteren Bedingung können sie sich also um die „Dachkante“ beliebig drehen, ohne ihre anfangs geforderte Eigenschaft zu verlieren.

3. Beispiel: Es wird die Gesamtheit aller zweiteiligen Spiegelsysteme gesucht, die dasselbe leisten, wie das sogenannte Pentaprisma. In den Formeln des zweiten Beispiels für a_3, b_3, c_3 ist dann

$$a_3 = 1$$

zu setzen.

Man erhält hieraus sogleich

$$Y = 0,$$

d. h. die Flächen müssen beide senkrecht zur XZ-Ebene, der Ebene des ein- und austretenden Strahles stehen. Ist unter dieser Bedingung die erste willkürlich gewählt, so bestimmt sich die zweite nur aus der Forderung $z_3 = 1$.


Digitized by Google

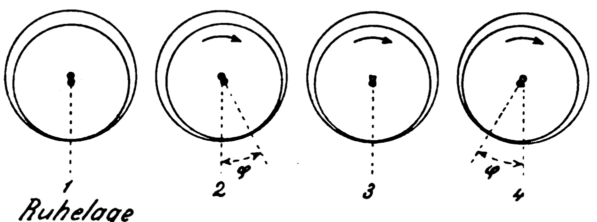
Referate.

Recherches expérimentales sur le frottement de pivotement.

Von A. Jaquerod, L. Defossez et H. Mügeli. *2e communication du laboratoire de recherches horlogères, Université de Neuchâtel. Journ. Suisse d'Horlog. et de Bij. Neuchâtel et Genève 1923.*

Trotz der Bedeutung, die Reibungsfragen in der Uhrentechnik zukommt, gibt es bisher kaum systematische Untersuchungen über die Gesetzmäßigkeiten, denen die Lagerreibung von Zapfen der bei Uhren vorkommenden Stärke unterliegt. Bei Wellen von den im Maschinenbau auftretenden Abmessungen sind hingegen die Reibungsverhältnisse im Lager in zahlreichen Arbeiten eingehend studiert worden. Die Verfasser haben es nun unternommen, die Reibung kleiner Zapfen — in einem Falle betrug z. B. der Durchmesser 0,09 cm — im ungeschmierten und im geschmierten Zustand in Abhängigkeit von zahlreichen Faktoren zu untersuchen, unter denen besonders Geschwindigkeit und Belastung des Zapfens sowie Art und Alter des Schmiermittels genannt seien. Die Bestimmung der Reibung erfolgte zunächst so, daß um die horizontal in Steinen gelagerte Welle ein an seinem freien Ende mit einem Gewicht beschwerter Faden aufgewickelt war. Das fallende Gewicht rollt, die Welle beschleunigend, den Faden ab, vermöge der kinetischen Energie kehrt es jedoch in seiner tiefsten Lage um, und der Faden wickelt sich wieder auf. Das Gewicht steigt aber nicht bis ganz zur ursprünglichen Lage zurück; die verlorne Höhe gibt ein Maß der zur Überwinduug der Reibung verbrauchten Energie. Die Methode birgt indessen so viele Fehlerquellen in sich, daß exakte Messungen nicht durchgeführt werden konnten. Diese wurden nach folgendem Verfahren möglich: Die über eine Schnurscheibe antreibbare Welle endigt in einem Zapfen, auf den ein in Metall gefaßtes Steinlager (das Versuchslager) aufgesteckt ist. Würde jetzt die Welle gedreht, so würde das Versuchslager vermöge der Zapfenreibung mitgenommen und ebenfalls in Rotation versetzt werden; nun ist aber mit dem Lager das eine Ende einer koaxial zur Welle angeordneten Spiralfeder starr verbunden, deren anderes Ende am Gehäuse des ganzen Apparates befestigt ist. So kann die Mitnahme des Lagers nur soweit erfolgen, bis den Reibungskräften von der Torsionskraft der Feder das Gleichgewicht gehalten wird. Am Lager ist ein Zeiger angebracht, der vor einer festen Skala spielt; die bei Gleichgewicht erhaltenen Ausschläge geben ein Maß der Lagerreibung. Das ganze Gerät ist so eingerichtet, daß die Welle sowohl horizontal wie vertikal laufen kann; die Belastung wird verändert durch Aufschieben konzentrischer Ringe auf das Versuchslager.

Außer diesen Messungen ist noch eine optische Untersuchung der in der neueren Theorie der Reibung wichtig gewordenen Verlagerung des Zapfens im Lager vorgesehen. Ein schräg zur Achse stehender Spiegel, durch den der Zapfen hindurchgeht, ermöglicht, ein Lichtbündel parallel zur Achse auf das Lager zu werfen und so das Lagerspiel zu beleuchten, das nun mikroskopisch betrachtet werden kann. Die nachstehenden Figuren zeigen schematisch das Ergebnis, das mit den Forderungen der Theorie in bester Übereinstimmung ist. Bei geringen Geschwindigkeiten, solange noch trockene Reibung herrscht, verlagert sich der Zapfen gegen die Drehrichtung um den Winkel φ (2), bei etwa 3 $\sec^{-1}$ Winkelgeschwindigkeit liegt der Berührungspunkt wieder wie in der Ruhelage (3) und verschiebt sich dann mit wachsender Drehzahl im Umlaufssinne (4). Schließlich schwimmt er frei im Schmiermittel, Zapfen und Lager sind fast koaxial. Bei Winkelgeschwindigkeiten von etwa 250 $\sec^{-1}$ konnte eine Verlagerung der Stelle geringster Ölfilmdicke um $\varphi = 60^{\circ}$ bis 70° beobachtet werden.



Der wichtigste Befund der Reibungsmessungen ist die weitgehende Übereinstimmung mit dem Verhalten der Gleitlager von Ausmaßen, wie wir sie im Maschinenbau antreffen. Die allgemeine Kurve des Reibungskoeffizienten in Abhängigkeit von der Zapfengeschwindigkeit zeigt durchaus denselben Verlauf, den Stribeck in seinen bekannten Untersuchungen

Digitized by Google

bei Zapfen von etwa dem 80fachen Durchmesser festgestellt hat. Der Reibungskoeffizient (f) nimmt von seinem statischen Wert (f_0) zunächst mit wachsender Drehzahl ab und erreicht ein Minimum, um dann beständig anzusteigen. Die Verfasser stellen für ihre Kurven eine empirische Formel auf: $f = f_0\, e^{-\lambda \omega} + A\omega - B\omega^2$, wobei λ, A, B Konstante sind und ω die Winkelgeschwindigkeit bedeutet. Der Koeffizient A erwies sich als näherungsweise proportional der Zähigkeit des Schmiermittels. Bei Verwendung verschiedener Öle zeigte sich, daß auf dem ansteigenden Ast der Kurve des Reibungskoeffizienten die Ordnung der Reibungsverluste dieselbe war wie diejenige der Viskosität der Schmiermittel. Hingegen kam es vor, daß im Gebiete des Minimums und der abnehmenden Reibung ein dickeres Öl geringere Verluste ergab als ein dünnflüssigeres. Es spielen also in diesem Bereich noch andere Faktoren als die Viskosität eine Rolle. Versuche über den Alterungseinfluß ließen eine erhebliche Zunahme der Reibung erkennen, nachdem der Apparat wochenlang unberührt gestanden hatte. Die Zähigkeit der benutzten Öle ist in CGS-Einheiten angegeben, leider ohne den unbedingt zugehörigen Temperaturwert, wie denn auch sonst in der Arbeit der Frage der Temperatur und der Erreichung von Beharrungszuständen keine Beachtung geschenkt wird. So könnte vielleicht der angegebene, die Reibung vermehrende Einfluß zu reichlicher Schmierung durch die Kühlwirkung des überflüssigen Öls und somit durch die Verhinderung der Zähigkeitsabnahme erklärt werden. — Den von den Verfassern angekündigten weiteren Untersuchungen über die Reibungsverhältnisse bei pendelnden Bewegungen darf man mit großem Interesse entgegensehen. *R. Vieweg.*

The phonic chronometer.

Von A. B. Wood und J. M. Ford. *Journ. scientific Instr. 1. S. 161. 1924.*

Es wird eine Meßanordnung zur Messung kleiner Zeitabschnitte mit einer Meßgenauigkeit von 0,001 Sek. beschrieben, die auf der Anwendung des bekannten phonischen Rades beruht, das durch eine Stimmgabel mit ein wenig veränderlicher Schwingungsdauer im Umlauf geregelt wird.

Der Motor ist nach der Art der üblichen Motoren gebaut mit einem Weicheisen-Anker aus dem 10 Zähne ausgefräst sind. Der Stator ist zweiteilig, ebenfalls mit je 10 Zähnen, zwischen beiden Zahnreihen befindet sich die Wickelung. Eine Quecksilberfüllung des Rotors hat sich nicht bewährt. Er hat ein recht hohes Drehmoment und läuft völlig geräuschlos. Von dem Motor werden die Räder angetrieben, die die Zeiten abzulesen gestatten. Die Kuppelung dieser Räder erfolgt einfach durch Reibung der Räder am Umfang bzw. an der Stirnseite. Das Ein- und Ausschalten der Kuppelung bewirkt ein Elektromagnet, der in Differentialschaltung arbeitet, was sich als ausreichend erwies, um alle Verzögerungsfehler beim Ein- und Ausschalten genügend zu beseitigen. Es war möglich, durch einen Motor bis zu drei Zeigerwerken zu betätigen.

Als Stimmgabel dient eine von 25 Schwingungen in der Sekunde, was für das Antriebsrad eine Umdrehungszahl von 2,5 in der Sekunde und für die Zeiger von 10 in der Sekunde ergab. Sie hat an den Enden der Zinken verstellbare Belastungsgewichte; die Kontakte sind so eingerichtet, daß die Amplituden der Zinken eine bestimmte Größe nicht überschreiten können. Als Material erwies sich Stahl als ausreichend.

Praktische Versuche erwiesen, daß die Zuverlässigkeit der Angaben auf 0,001 Sek. gut erreicht wird. Das normale Meßbereich ist 100 Sek., kann auch durch Zusatzräder vergrößert werden. Seine Vergrößerung erscheint aber nicht praktisch, da dann etwaige Temperaturänderungen der Stimmgabel sich bemerkbar machen können. *Block.*

Two new methods of measuring the internal diameter of transparent tubes.

Von John S. Anderson. *Journ. of scientific Instr. 1. S. 9. 1923.*

Das Rohr wird von einem Glasmantel umgeben, mit zwei ebenen parallelen Wänden. Dieser Mantel wird mit einer geeigneten Flüssigkeit gefüllt, die nahezu den gleichen Brechungsquotienten wie das Glasrohr hat. Die genaue Gleichheit des Brechungsquotienten stellt man so fest, daß man das System mit Hilfe eines Monochromators beleuchtet und sich die Farbe aussucht, bei der Gleichheit des Brechungsquotienten erreicht wird. Als geeignete Flüssigkeiten stehen bekanntlich eine ganze Reihe zur Verfügung. Die Prüfung auf Gleichheit des Brechungsquotienten läßt sich außerordentlich leicht so ausführen, daß man z. B. einen zwischen Lichtquelle und Rohr diagonal ge-


Digitized by Google

spannten Draht mitbeobachtet. Dann läßt sich der Innendurchmesser mit Kathetometer ganz leicht, ebenso wie der Durchmesser eines Drahtes, messen.

Nach einem zweiten Verfahren wird das Rohr mit Röntgenstrahlen photographiert, am besten, wenn man es innen mit Quecksilber gefüllt hat. Den Fehler infolge Divergenz des Strahlenbündels kann man so berücksichtigen, daß man z. B. einen Draht von etwa gleicher Stärke wie der Innendurchmesser des Rohres in gleicher Lage mitphotographiert *Block.*

A total-immersion indicating hydrometer.

Von A. Pollard. *Journ. of scientific Instr.* **1.** *S. 97 und 122. 1924.*

Es wird ein Gerät zur fortlaufenden Messung der Dichte von Flüssigkeiten beliebiger Art beschrieben, das nach den bekannten Grundsätzen des Nansen-Hydrometers und des üblichen Aräometers gebaut ist. Als messendes Organ dient ein gläserner Hohlkörper von ┌ förmiger Gestalt, der mit seinem kurzen Schenkel, der nach unten oder oben gerichtet ist, auf einer ebenen Glasplatte ruht, und sich um diesen Unterstützungspunkt in einer Vertikalebene dreht. Seine Masse, Massenverteilung und sein Raumgehalt sind so abgeglichen, daß er, wenn er einschließlich der Auflagefläche vollständig von der zu untersuchenden Flüssigkeit umgeben ist, in ihr etwa horizontal schwebt. Ändert sich deren Dichte, so gibt seine Neigungsänderung ein Maß der Dichte. Diese Neigung wird an einer Kreisbogenskala am freien Ende des langen Schenkels abgelesen, die natürlich gleich in Dichte geteilt ist. Es bereitet keine Schwierigkeiten, das Gerät so empfindlich herzustellen, daß man noch Dichteänderungen von 0,00001 abzulesen vermag. Die notwendigen Korrektionen der Lesung sind natürlich die gleichen wie bei den oben genannten beiden Typen. Capillare Einflüsse machen sich, da das ganze Gerät sich unter dem Flüssigkeitsspiegel befindet, nicht bemerkbar. Die Zähigkeit der zu prüfenden Flüssigkeit setzt seiner Anwendung natürlich gewisse ziemlich enge Grenzen.

Wegen des erheblichen Einflusses von Temperaturänderungen auf die Angaben des Gerätes wird noch eine zweite Form angegeben, bei der der eigentliche Meßkörper mit Auflagerfläche von einem ziemlich engen Glasrohr umgeben wird, das allein mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt ist. Dieses Glasrohr selbst ist in einem großen Temperierbad untergebracht, mit Durchblicköffnungen, und es kann das Rohr von außen so gedreht werden, daß es den eigentlichen Schwimmer stets sich frei einstellen läßt.

Der Hauptverwendungszweck des Gerätes ist wohl der einer dauernden Überwachung der Dichte einer strömenden Flüssigkeit in chemischen Betrieben. *Block.*

Kameralinsen von großer Öffnung für Sternspektrographen.

Von G. W. Moffitt. *Journ. Opt. Soc. of America* **8.** *S. 361. 1824.*

In der Sternspektographie handelt es sich häufig um sehr lichtschwache Objekte. Zur Vergrößerung der Helligkeit des Bildes ist es sehr erwünscht, ein Objektiv mit möglichst großer wirksamer Öffnung zu besitzen. Der Verf. erörtert die Eigenschaften, die ein solches Objektiv haben muß. Es kommt dabei weniger auf vollkommene Beseitigung des Achromatismus an, da man durch entsprechende Neigung der photographischen Platte gegen den Strahlenfächer scharfe Bilder in der ganzen Ausdehnung des Spektrums erhalten kann. Wichtig ist vielmehr, daß das Objektiv frei von sphärischen Abweichungen, sowie frei von Zonen sei und ein möglichst ebenes Bild besitzt, ferner kein Koma habe und die Sinusbedingung erfüllt sei; Freiheit von Astigmatismus ist nicht unbedingt erforderlich.

Der Verf. teilt sodann mit, daß er ein Objektiv vom Petzval-Typus aus Borosilikat-Kron und gewöhnlichem Flintglas von der Öffnung $F/_3$ konstruiert habe. Er gibt einen Durchschnitt durch das Objektiv, nach welchem die beiden, die Hinterlinse bildenden Linsen einen größeren Abstand voneinander zu haben scheinen, als sonst beim Petzval-Objektiv üblich ist. Irgendwelche zahlenmäßige Angaben über die Konstruktionselemente fehlen.

Bei Prüfung des Objektivs bei der Wellenlänge 4400 zeigte sich eine innerhalb 0,1 mm ebene Bildfläche bis zu einem Winkel um 10° von der Achse. Die Brennweite war 255,1 mm. Auch war das Objektiv in bemerkenswerter Weise gut achromatisch.



Bei Anwendung von drei Prismen war das Spektrum zwischen den Wellenlängen 3900 bis 5000 innerhalb 0,05 mm eben, bei zwei Prismen war es leicht konvex gegen das Objektiv hin bis zu 0,07 mm. Unter Anwendung von nur einem Prisma stieg diese Konvexität auf 0,1 mm, was schon sehr störend war, da schon bei einem Winkel von 1,5° von der optischen Achse die Bilder nicht mehr genügend waren. Der Verf. erklärt diese Erscheinung durch die Reste der chromatischen Abweichung des Kollimator- und Kameraobjektivs zusammen, meist aber des ersteren. Die Prismen wirken aber in der Richtung der Ebnung des Feldes. Man wird also für die Benutzung von einem oder mehreren Prismen verschiedene Objektive konstruieren und benützen müssen.

Der Verf. hebt zum Schluß hervor, daß die sonst für die Sternspektrographie benutzten Objektive nur eine Öffnung von $F/_6$ besäßen, so daß sein Objektiv von der Öffnung $F/_3$ einen größeren Fortschritt bedeute. Er meint sogar, daß es möglich sein werde, eine Öffnung von $F/_2$ zu erzielen. Es mag bemerkt werden, daß in Deutschland Petzval-Objektive mit einer Öffnung von $F/_3$ seit langem hergestellt werden. Ob diese, so wie sie sind, sich für die Sternspektrographie eignen, kann nicht ohne weiteres behauptet, wohl aber vermutet werden, daß sie durch geringe Veränderung ihrer Konstruktion den in Betracht kommenden Anforderungen angepaßt werden können. *H. Krüss.*

Ein vergrößerndes Fernrohr für Naturforscher.

Von W. B. Rayton. *Journ. Opt. Soc. of America* **8**. *S. 353. 1924.*

Die Konstruktion kommt dem Wunsch entgegen, Naturvorgänge in der Nähe vergrößert zu sehen, wie z. B. das Verhalten von Insekten auf Blüten. Man darf dabei nicht zu nahe sein, um die Tiere nicht zu stören, benötigt aber zur genauen Beobachtung ein größeres Bild als mit freiem Auge erhältlich.

Zunächst war ein Doppelfernrohr in Aussicht genommen. Hierbei war hinderlich die erforderliche Konvergenz der Augenachsen bei kurzer Entfernung vom Gegenstand. Man kam deshalb auf ein einäugiges Prismenfernrohr, das sich von den gewöhnlichen derartigen Instrumenten lediglich dadurch unterscheidet, daß man das Okular so weit ausziehen kann, daß Gegenstände bis zur Annäherung von 30 engl. Zoll eingestellt werden können. *H. Krüss.*

Ein einfaches Photometer zur Messung geringer Lichtstärken.

Von Enoch Karrer *und* A. Poritzky. *Journ. of Opt. Soc. of America* **8**. *S. 355. 1924.*

Es gibt bereits eine Anzahl von verschiedenen Konstruktionen von Photometern, die zur Messung geringer Lichtstärken dienen. Diese verzichten zumeist auf die Benutzung eines Photometerschirmes als Auffangfläche und wenden statt dessen ein Linsensystem an, welches mit seiner optischen Achse auf die zu messende Lichtquelle gerichtet wird und dem in seinem Brennpunkte befindlichen Auge in seiner ganzen Fläche durch die Lichtquelle erleuchtet erscheint. Die Verf. führen eine Anzahl solcher Konstruktionen an, vor allem das Photometer von Gehlhoff und Schering sowie dasjenige von Fabry und Buisson[1]). Bei diesen Instrumenten ist der Photometerschirm auch für die Vergleichslichtquelle durch eine Linse ersetzt. Die Verf. halten das nicht für erforderlich, da man die Vergleichslichtquelle immer schwach genug wählen könne.

Bei dem Photometer der Verf. ist nur interessant die Art der diffusen Vergleichsfläche. Das Übrige bietet nichts wesentlich Neues. Die Hypotenusenfläche des Lummer-Brodhun-Würfels, die wie gewöhnlich durch eine Lupe betrachtet wird, erhält aus der Richtung rechtwinklig zur Lupenachse das Licht der auf die schwache Lichtquelle gerichteten Lupe. In der Richtung der Lupenachse liegt die diffusreflektierende Vergleichsfläche.

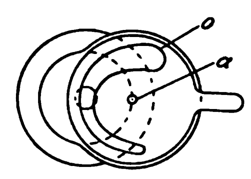
Diese Vergleichsfläche besteht aus einer innen weißen Hohlkugel aus Papiermaschee von 8 cm Durchmesser, in die man durch eine Öffnung hineinsieht. Rechtwinklig dazu ist in der Kugeloberfläche eine zweite Öffnung und vor derselben eine zweite ganz gleiche Hohlkugel angebracht. Das Innere dieser letzteren wird durch eine kleine in der Kugelwand angebrachte Glühlampe beleuchtet und erhellt nun durch die Öffnung zwischen den beiden Kugeln die Innenwand der ersten Kugel. Dieser Gedanke berührt sich mit der Konstruktion von Schmidt & Haensch mit dem

---

[1]) *Diese Zeitschr.* **42**. *S. 312. 1922.*

Digitized by Google

Unterschiede, daß letztere anstatt der Hohlkugeln Hohlzylinder anwenden. Hier wird die Beleuchtungsstärke der Kugel, die als Vergleichsfläche dient, in meßbarer Weise verändert durch Veränderung der wirksamen Öffnung zwischen den beiden Kugeln. Die vom Verf. angewandte diesem Zwecke dienende Einrichtung ist in der Figur dargestellt.



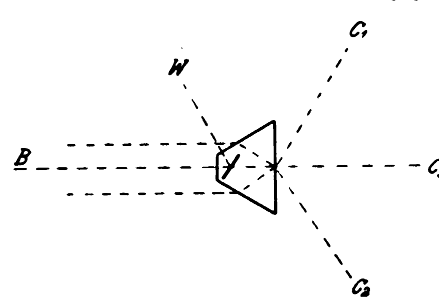
Vor der genannten Öffnung zwischen beiden Kugeln ist um die Achse *a* eine runde Scheibe drehbar, welche eine Öffnung *o* besitzt, die in ihrer Breite vor dem vollen Durchmesser der Kugelöffnung bis auf ein ganz geringes Maß geht. Die jeweils wirksame Öffnung kann an einer Teilung am Rande der drehbaren Scheibe abgelesen werden. Dieselbe Konstruktion findet sich an den seiner Zeit vom Ref. beschriebenen Quarzspektrographen[1]). Dort dient sie dazu, der Spalthöhe eine beliebig veränderliche Größe zu geben.

H. Krüss.

Ein Drei-Farben-Mischungs-Spektroskop.

Von Frank Allen. *Journ. of Opt. Soc. of America* 8. *S. 339. 1924.*

Bei dem von Helmholtz angegebenen Mischungsspektroskop werden aus zwei Kollimatoren C_1 und C_2 Strahlenbündel auf ein Prisma von 60^0 gesandt. Nach Brechung treten sie in der Richtung des Beobachtungsrohres *B* aus. Der Verf. bringt nun noch ein drittes Strahlenbündel zur Mischung, welches aus dem Prisma eines Spektroskops mit konstanter Ablenkung in der Richtung C_3 auf das Prisma fällt. Damit es das Prisma wie eine planparallele Platte durchläuft, ist das Prisma vorn abgestumpft. Außerdem ist noch ein Spiegel oder ein reflektierendes Prisma auf das Brechungsprisma aufgesetzt, welche gestatten, auch weißes, von *W* kommendes Licht in das Beobachtungsrohr zu schicken. Vorrichtungen an den Spalten gestatten, die Spektren unmittelbar aneinanderstoßen oder aufeinanderfallen zu lassen.



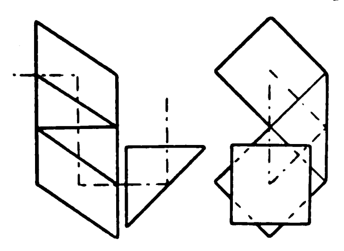
H. Krüss.

Ein Prismensystem für kleine gebrochene Fernrohre.

Von G. W. Moffitt. *Journ. of Opt. Soc. of America* 8. *S. 361. 1924.*

Das reflektierende Dachprisma, wie es in rechtwinklig gebrochenen Fernrohren benutzt wird st ein in jeder Beziehung vorzügliches Konstruktionselement. Der Verf. ist aber der Meinung, daß es verhältnismäßig schwer in genügender Genauigkeit herzustellen ist, weil der zulässige Fehler im Dachwinkel so klein ist, daß es in Massenfabrikation schwer herzustellen sei und deshalb sehr geschickte Arbeiter erfordere.

Infolge dieser Erwägungen hat sich der Verf. bemüht ein Prismensystem zu konstruieren, welches, nur aus rechtwinkligen Prismen bestehend, das Dachprisma in seiner Wirkung vollkommen ersetzt, also auch die Aufrichtung des Bildes bewirkt. Sein System (Figur) erhält seinen Platz zwischen Objektiv und Bildebene. Es besteht aus zwei Teilen, welche miteinander verkittet oder zum Zwecke der Justierung getrennt nebeneinander bleiben können. Der erste Teil kann betrachtet werden als zusammengesetzt aus drei Reflexionsprismen. Er kann aber aus einem einzigen Stück Glas hergestellt werden. Der zweite Teil ist ein einfaches rechtwinkliges Prisma.



Die Länge des Glasweges und die Anzahl der Totalreflexionen sind dieselben wie bei den gewöhnlichen Porroprismen und wie diese hat das vom Verf. angegebene System die Tendenz, das Gesichtsfeld in gewissem Maße zu ebnen, so daß es in dieser Beziehung dem Dachprisma noch überlegen sein würde.

H. Krüss.

[3]) *Diese Zeitschr.* **36**. *S. 2. 1916.*


Digitized by Google

Die Messung von Lufttemperaturen in geschlossenen Räumen mit nicht strahlungsgeschützten Thermometern.

Von H. Hausen. *Zeitschr. f. Techn. Phys.* 5. *S. 169. 1924.*

Der Verfasser hat auf Anregung des Frhr. von Bassus-München im Laboratorium für technische Physik der dortigen Technischen Hochschule theoretische und experimentelle Untersuchungen über die „Strahlungsmeßfehler“ von Quecksilber-Thermometern und Thermoelementen angestellt.

Hausen leitet zunächst für den Strahlungsmeßfehler Δt die Beziehung ab

$$\Delta t = \frac{\varphi \nu}{2\alpha} \frac{C_1 C_2}{C} \left[\left(\frac{\Theta}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right].$$

Hier bedeuten

Θ und T_0 die absoluten Temperaturen des strahlenden Körpers bzw. der umgebenden Luft;

C_1, C_2 und C die Strahlungskonstanten des strahlenden Körpers, des Thermometergefäßes und des absolut schwarzen Körpers;

α die Wärmeübergangszahl des Thermometergefäßes;

φ das sog. Winkelverhältnis, d. h. das Verhältnis des räumlichen Winkels ω, unter dem die strahlende Fläche vom Meßinstrument aus gesehen erscheint, zum räumlichen Winkel 2π des Halbraumes;

ν das sog. Flächenverhältnis der mittleren senkrecht bestrahlten Fläche im wirklichen Strahlungswinkel ω zur mittleren senkrecht bestrahlten Fläche im Halbraum 2π.

Die Abhängigkeit der Größe α vom Gefäßdurchmesser d cm des Thermometers wird durch die empirische Gleichung dargestellt

$$\alpha = 10{,}7 + \frac{2{,}7}{d} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{Std.} \cdot {}^0\text{C}} \right].$$

In einem Zimmer von 10° C Wandtemperatur und 20° C Lufttemperatur an der Meßstelle zeigt ein Thermometer von 0,55 cm Gefäßdurchmesser 2,7° C zu wenig. Bei Gegenwart einer Heizfläche von 1 qm und 100° C Temperatur zeigt dasselbe Thermometer in 0,5 m Abstand bei der Lufttemperatur 20° um 4,6° zu hoch, in 2 m Abstand noch um 0,6° zu hoch. Der Fehler Δt sinkt mit abnehmendem Gefäßdurchmesser. Bei Thermoelementen ist er nicht ganz halb so groß.

Theorie und Versuch ergaben ferner übereinstimmend eine wesentliche Abnahme von Δt durch Versilberung oder Vergoldung des Thermometergefäßes, allerdings unter gleichzeitiger Erhöhung der Trägheit des Thermometers, theoretisch um 38%. Bei blattvergoldetem Gefäß sank Δt auf 13% des früheren Wertes.

Verwendet man zwei Thermometer von verschiedener Strahlungskonstante C_2, so ergibt sich die Lufttemperatur t_0 aus den Ablesungen t' und t'' zu

$$t^0 = t' - K(t'' - t'),$$

worin K Instrumentenkonstante ist.

Für die allgemeine Meßtechnik ergab die Arbeit wichtige experimentelle Belege für die Einstellungsdauer der Thermometer, für den Einfluß der Beleuchtung und den der Beobachternähe.

Am Schluß der aufschlußreichen Arbeit wird noch das verbesserte Zimmerthermometer der Firma J. Greiner in München hervorgehoben. Bei dieser Anordnung ist das Quecksilberthermometer nicht unmittelbar auf dem an der Wand hängendem Skalenkörper befestigt; Thermometer und Skala haben vielmehr 2 cm Abstand von dem zur Aufhängung dienenden Wandbrettchen und das Gefäß ist möglichst wenig in die Skala versenkt.

Mit Rücksicht auf die erheblichen Strahlungsfehler wird bei wissenschaftlichen Untersuchungen das Schleuder- und das Aspirationsthermometer dem gewöhnlichen Thermometer oft vorzuziehen sein, nicht aber dann, wenn es darauf ankommt, den stationären Temperaturzustand der Luft an einem bestimmten Punkt zu messen. *G.*


Digitized by Google

Bücherbesprechungen.

H. Boltz, Entwicklungsverfahren zum Ausgleichen geodätischer Netze nach der Methode der kleinsten Quadrate. (Veröff. Preuß. Geod. Inst., N. F., Nr. 90) 4°. VI, 108 S. m. Fig. Berlin, Stankiewicz 1923.

Es möge ausnahmsweise gestattet sein, in *dieser Zeitschrift* mit einigen Worten auch eine Arbeit anzuzeigen, die sich nicht mit instrumentellen Hilfsmitteln geodätischer Messungen, sondern mit rein rechnerischen Dingen befaßt.

Es handelt sich um die Ausgleichung ausgedehnter Dreiecksnetze, eine Arbeit, die nach dem bisher geübten Verfahren des Gaußschen Algorithmus rasch sehr mühsam wird, wenn die Bedingungsgleichungen eine hohe Zahl erreichen. Die Leistung A. Nagels, der das neue Hauptdreiecksnetz des frühern Königreichs Sachsen mit 159 Netzbedingungsgleichungen in einem Guß nach dem bisher üblichen Verfahren ausglich, so daß 159 Normalgleichungen mit 159 Korrelaten gleichzeitig aufzulösen waren, wird wohl nie mehr Nachahmung finden. Und von dem sonst meist angewandten Vorgang, solche Netze mit vielen Bedingungsgleichungen in einige Teile zu zerschlagen, um diese nachher mit Zwangsbedingungen, die in den Messungen nicht begründet sind, wieder aneinanderzulegen, muß man sagen, daß dieses Verfahren dem Geiste der Methode der kleinsten Quadrate unmittelbar zuwiderläuft, indem diese „strenge" Methode der Ausgleichung eben solche Willkürlichkeiten ausschalten soll.

Das „Entwicklungsverfahren" des Verfassers war nun zunächst (vgl. *Zeitschr. für Verm., Märzheft von 1919*) eine wiederholte Anwendung des schon von Gauß versuchten, von dem im vorigen Jahr verstorbenen Krüger, dem wir so viel in der Fortführung der geodätischen Ausgleichungsrechnung verdanken, näher untersuchten „Zweigruppenverfahrens", bei dem die Su- und die Si-Bedingungen der Winkel eines Dreiecknetzes getrennt behandelt werden (vgl. Krüger, Über die Ausgleichung von bedingten Beobachtungen in zwei Gruppen, Veröff. Preuß. Geod. Inst., N. F., Nr. 18, Potsdam und Leipzig 1905). Der Verfasser fand jedoch dabei, daß diese wiederholte Anwendung der Zweigruppenrechnung, wie er sie damals entwickelt hatte, gegen den gewöhnlichen Gaußschen Algorithmus der Gesamt-Ausgleichung rechentechnisch nur Vorteile haben kann bei gewissen Gesetzmäßigkeiten im Aufbau des Netzes. Zu zeigen, daß und wie diese einschränkende Voraussetzung für das „Entwicklungsverfahren" überflüssig gemacht werden kann, ist der Gegenstand des vorliegenden Heftes. Die Anwendung auf ein größeres Beispiel, in dem ungestörte und gestörte Ketten und Zentralsysteme von Dreiecken kombiniert sind, wird in allen Einzelheiten vorgeführt. Das Beispiel besteht aus 39 Dreiecken, die verschiedenen Teilen der Haupttriangulationen der Preuß. Landesaufnahme entnommen sind und sich etwa längs der Westgrenze des Deutschen Reichs von der Seite Mündt-Ubagsberg im N. bis zur Seite Belchen-Glaserberg im S. erstreckt; und es zeigt sich an diesem Beispiel deutlich, daß das „Entwicklungsverfahren" des Verfassers, bei dem die einzelnen Normalgleichungssysteme erst nach und nach in die Rechnung eintreten, so daß die Ausgleichung „beständig im Fluß" bleibt, indem das Hinzuziehen weiterer Bedingungs- und Normalgleichungen leicht möglich ist, in der Tat für solche ausgedehnte Netze einen wichtigen Fortschritt vorstellt über den Algorithmus der starren „Ausgleichung in einem Guß", falls dieser überhaupt noch praktisch zu bewältigen ist, hinaus. *Hammer.*

P. Werkmeister, Das Entwerfen von graphischen Rechentafeln (Nomographie). 8°. VII, 194 S. mit 164 Abb. Berlin, Julius Springer 1923. 9,— Goldmark; geb. 10,— Goldmark. 2,15 Dollar; geb. 2,40 Dollar.

Nochmals eine deutsche Darstellung der „Nomographie", über die allein derselbe Verlag fast gleichzeitig mit der hier anzuzeigenden zwei weitere Schriften veröffentlicht hat (das anspruchslose hübsche Heft von F. Krauß, Nomographie oder Fluchtlinienkunst, vom Verf. der vorliegenden Schrift neben den zwei kleinen Bändchen von Luckey in sein Verzeichnis der „wichtigsten" Literatur aufgenommen, und die Schrift von O. Lacmann, Herstellung gezeichneter Rechentafeln, mit guter und ziemlich umfassender Entwicklung der Prinzipien und Anwendungen auf ganz bestimmte technische Gebiete). Wenig verständlich ist, um dies gleich hier beizufügen, das vollständige Übergehen der reichen englischen und amerikanischen Literatur über „*graphs*" und Nomographie in der „wichtigsten Literatur" des Verf.


Digitized by Google

Der Verf. behandelt seinen Gegenstand ziemlich elementar, verzichtet z. B. im Interesse der „praktischen Gesichtspunkte“ auf die Entwicklung der „theoretischen Probleme“ der Nomographie; so wird u. a. der neuerdings besonders von den Franzosen gepflegte Begriff der nomographischen „Ordnungen“ nicht erwähnt. An welche Leser der Verf. überhaupt sich wendet, ist nicht überall leicht zu sehen; er wählt als Beispiele nur solche, die keine besondern „fachtechnischen Kenntnisse“ erfordern, es wird aber auch bei Schülern oder Studierenden, bei denen man „die Sätze und Verfahren der analytischen Geometrie als bekannt voraussetzen“ kann, nicht notwendig sein, den Sinus-Satz des ebenen Dreiecks als „eine in der Trigonometrie bei der Berechnung des ebenen schiefwinkligen Dreiecks vorkommende Gleichung“ vorzuführen (S. 161, S. 168 wiederholt; vgl. ähnliches S. 157 u. an andern Stellen). Die Sprachwidrigkeit des Verfassers, eine Ablesgerade als „geradlinige Ablesekurve“ zu bezeichnen (z. B. S. 188) geht in verschiednen Formen durch das ganze Büchlein: Gerade als Ablesekurve, zwei parallele Gerade als System von Ablesekurven, ein System von Ablesekurven in Form eines Dreistrahls; und auch das Widerspiel der „nicht geradlinigen Ablesekurve“ fehlt natürlich nicht.

Die Einteilung der Nomogramme in solche mit bezifferten Punkten (Tafeln mit Punktskalen), solche mit bezifferten Kurven (sollte wieder besser Linien heißen, Tafeln mit Linienskalen statt nach dem Verf. Kurvenskalen) und endlich solche mit Punkt- und Kurven-(Linien-) Skalen kann man annehmen, obwohl sie nicht alle nomographischen Möglichkeiten erschöpft. Daß die vom Verf. behandelten Tafelformen z. T. willkürlich gewählt werden mußten, wie das Vorwort angibt, versteht sich bei dem Umfang der Schrift von selbst. Ob es dagegen wirklich zweckmäßig war, die Anwendungen auf ganz elementare arithmetische und algebraische, goniometrische und trigonometrische Dinge zu beschränken, wird von verschiedenen Lesern verschieden beurteilt werden. Manches macht wieder, wie auch in andern größern Werken, den Eindruck des lusus arithmeticus sive geometricus.

Auch hier möchte ich nicht unterlassen, die Verfasser von Anleitungen zur Nomographie, soweit diese nicht einfache Schaubilder liefern, sondern tatsächlich Rechentafeln herstellen soll, (sei es nun zur Entnahme von Werten zu gegebenen Argumenten, sei es zur „Auflösung“ von Gleichungen usw.), auf zwei Dinge hinzuweisen, die zur Vervollständigung ihrer Darstellungen unerläßlich scheinen. Einmal sollte der Vergleich der Leistungen mit der von Zahlentafeln nicht fehlen, soweit er überhaupt möglich ist: bei Entnahme eines Funktionswerts zu einem gegebenen Argument oder umgekehrt wird der Vergleich in Beziehung auf Bequemlichkeit und Leistung fast stets zugunsten der Zahlentafel, selten zugunsten der zu diesem Zweck allein in Betracht kommenden doppelten Punktskale ausfallen. Wer wird in der Tat die Tafel für die mittlere Refraktion r_m nach Abb. 18 des Verf. (z. B. mit den Besselschen Zahlen $b_0 = 751{,}8$ mm und $t_0 = +9{,}3^0$ C $r_m = 57{,}7 \cdot \operatorname{tg} z$ für nicht zu große z) anwenden wollen, die mit genügender Genauigkeit herzustellen ziemlich umständlich ist, die die Drehung eines Zeigers auf durchsichtigem Stoff verlangt und dabei wenig übersichtlich ist, während eine Zahlentafel von ganz geringem Umfang auch bei der gewünschten Genauigkeit von $0'',1$ in r_m in wenigen Minuten herzustellen ist und Anblickseinschaltung zuläßt. Selbst die verrufene „kreuzweise“ Interpolation bei zwei Argumenten für eine Zahlentafel ist sehr wenig zu fürchten, wenn sie eben bequem und genau genug durch Anblick möglich ist. Ich will z. B. die Zweckmäßigkeit einer bequem eingerichteten graphischen Tafel für die tatsächliche Refraktion r mit den Argumenten r_m, t und b garnicht leugnen; aber z. B. die Reduktion von E auf e bei der „gewöhnlichen“ (topographischen) Tachymetrie, bei der es auf einige dm nicht ankommt, führe ich nach vielen Versuchen rascher, sicherer und mit weniger Ermüdung durch Anblickseinschaltung in einer Zahlentafel aus, die nur den Umfang der Tab. 5 in meinem Übungsbuch: „Meß- und Rechenübungen zur Praktischen Geometrie“ (Stuttgart, Metzler), zu haben braucht, als mit irgend einem Nomogramm, rein graphischer oder graphisch-mechanischer Einrichtung. Sodann sollte doch endlich einmal auch die Wirtschaftlichkeit der Nomogramme von allgemeinen Gesichtspunkten aus untersucht werden, wenn es sich um wirkliche praktische Anwendung graphischer oder graphisch-mechanischer Rechenhilfsmittel handelt: Zeit zur Herstellung des Nomogramms im Vergleich mit der voraussichtlichen Gesamtzeit der Benützung; Vergleich mit andern Rechnungsarten, besonders Zahlentafeln, die meist ohnehin berechnet werden müssen „als


Digitized by Google

Grundlage" der graphischen Tafel; Leistung nach Menge, Genauigkeit, Ermüdung bei der Benützung, (z. B. Dauerleistung wie lange und mit welchen Wirkungen möglich?) u. a. m. Ich habe diesen Wunsch schon mehrfach geäußert, es ist aber bis jetzt sehr wenig zur Erfüllung geschehen.

Hammer.

E. Hammer, Lehr- und Handbuch der ebenen und sphärischen Trigonometrie. Zum Gebrauch beim Selbstunterricht und in Schulen, besonders als Vorbereitung auf Geodäsie und sphärische Astronomie. 5. Aufl. Stuttgart, Metzler 1923.

Auf XIX und 680 Seiten mit mehr als 250 Fig. im Texte gibt der Verfasser ein ausführliches Vorwort über die angestrebten Ziele und eine gründliche Bearbeitung des ganzen Gebietes der Trigonometrie. Im einzelnen gliedert sich der Inhalt in Einleitung und geschichtliche Skizze, 14 S., Goniometrie nebst Teilen der ebenen Trigonometrie, 198 S., Trigonometrie und Polygonometrie der Ebene, 192 S., Sphärische Trigonometrie mit Grundzügen der sphärischen Astronomie, 208 S., Anmerkungen 64 S.

Wer sich in der Trigonometrie weiter umsehen will, mehr noch, wer in diesem Gebiete zu unterrichten hat, am meisten wohl wer es praktisch anwendet, wird aus dem vorliegenden Werke reiche Belehrung, vielseitige Anregung und mannigfachen Rat schöpfen können. Lebhaftes Interesse finden in weiten Kreisen die geschichtlichen Ausführungen in den Anmerkungen im Anhange des Textes. Der Gebrauchswert des Buches liegt zum nicht geringen Teil in dem Bestreben, gute Anleitung zum Zahlenrechnen zu geben; die zahlreichen dem Gebiete der Vermessungskunde zugehörigen Beispiele sind hierfür besonders geeignet. Zugleich geben diese der praktischen Anwendung entnommenen Aufgaben ein vorzügliches Unterrichtsmaterial ab, das beim Schüler gewöhnlich lebhaftes Interesse auslöst, im Gegensatz zu nur toten oder seiner Anschauung fernstehenden Aufgaben; ganz von selbst wird der Schüler auch den Wunsch haben, selbst einfache Messungen auszuführen und zu berechnen. Wer viel und vielseitig mit Zahlenrechnen zu tun hat, wird dem Verfasser voll beipflichten, daß diese Tätigkeit nicht früh und nicht sorgfältig genug geübt werden kann. Nur dann lernt man rasch, richtig und leicht rechnen; die häufig zu treffende Abneigung gegen Zahlenrechnen ist nur die Folge der Unfähigkeit hierzu. Die Fertigkeit hierin ist aber — nebst der Gewöhnung, knappe deutliche Zahlen zu schreiben — in erster Linie bedingt durch übersichtliche Anordnung der Rechnung. Die zahlreichen verschiedenartigen Beispiele im vorliegenden Werke geben gute Anleitungen. Auf 110 Seiten sind die Formeln für Aufgaben der elementaren Vermessungskunde entwickelt, für die Rechnung zergliedert und mit Zahlenbeispielen durchgeführt. Man findet Aufgaben der Kleinmessung, der Achsenabsteckung, Triangulierungsaufgaben für Vorwärts- und für Rückwärtseinschneiden, trigonometrische Höhenmessung, ausführliche Koordinatenrechnung für Dreiecksmessung und für Polygonzüge. In einem Abschnitt über mathematische Geographie sind auch wichtige Aufgaben über Kartenprojektionen angeführt.

Gegen frühere Auflagen des Buches neu aufgenommen sind verschiedene Ausführungen über graphische Rechenhilfsmittel, die in einzelnen Fällen recht gute Dienste leisten können: besondere Rechenskalen und Nomogramme zur Auflösung ebener und sphärischer Dreiecke. Mit Recht hebt aber der Verfasser hervor, daß für trigonometrische Rechnungen die Logarithmentafel und für viele Kleinrechnungen der gewöhnliche Rechenstab allen anderen Hilfsmitteln, auch der Rechenmaschine, überlegen ist.

Vielen Lesern, besonders aus Ingenieurkreisen, wird der Abschnitt über praktische Astronomie willkommen sein. Nicht nur weil dieses Kapitel neuerdings in Lehrbüchern der Vermessungskunde meist keinen Platz mehr findet, sondern auch weil wir auf diesem Gebiete keine große Auswahl von Lehrbüchern haben; vor allem nicht von solchen, die der praktischen Ausführung geographisch-astronomischer Bestimmungen mit dem Feldmeßtheodolit angepaßt sind. Im vorliegenden Werke aber finden wir die Theorie leichtfaßlich und kurz entwickelt, eine große Zahl von Hinweisen für die Messungen angegeben, und übersichtliche Anleitungen zur Berechnung mit Zahlenbeispielen belegt.

Haußmann.

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Digitized by Google

DEC 9 1924
IODICAL ROOM
ERAL LIBRARY
IV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT
FÜR
INSTRUMENTENKUNDE.

Organ
für
Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben
unter Mitwirkung der
Physikalisch-Technischen Reichsanstalt
von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **A. Schmidt** in Cöln a. Rh., **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang.

1924.

10. Heft: Oktober.

Inhalt:

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1924.



Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande **nur** durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Die Berechnung erfolgt heftweise.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei 1/4 1/2 1/1 Seite Umfang 30.— 60 — 120.— Goldmark

Bei 6 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist 10 20% Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,30 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseingangs. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungs datum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) **nur** auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 23/24.
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch
Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

R. FUESS / Berlin-Steglitz

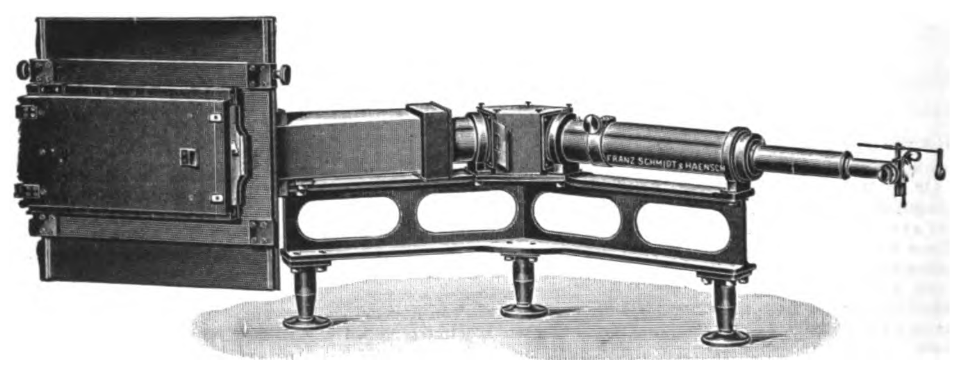


Großer Spektrograph.

R. FUESS BERLIN-STEGLITZ

Franz Schmidt & Haensch

Prinzessinnenstr. 16 **BERLIN S 42** Prinzessinnenstr. 16



Großer Quarzspektrograph

Polarisations-Spektral-Apparate sowie
Photometer für wissenschaftlichen und technischen Gebrauch.
Projektionsapparate, Spezial-Kugelepiskope und Epidiaskope.
Anomaloskope nach Nagel, Thornersche Augenspiegel.

Preislisten kostenfrei.

[6468]

Digitized by Google

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIV. Jahrgang. **Oktober 1924.** Zehntes Heft.

Alfred Westphal
zum Gedächtnis.

Am 2. September d. J. starb in Berlin nach längerem schweren Leiden im 74. Lebensjahre Geh. Regierungsrat Prof. Dr. Alfred Westphal, von 1883 bis 1894 Redakteur, von da ab bis 1910 geschäftsführendes Mitglied des Kuratoriums unserer Zeitschrift.

Geboren am 1. August 1850 zu Leutesdorf, Kreis Neuwied, als Sohn des Bürgermeisters Johann Friedrich Westphal, besuchte er die Gymnasien zu Coblenz und Heiligenstadt und widmete sich von 1869 bis 1873 dem Studium der Mathematik und der Naturwissenschaften an der Universität Berlin.

Nach Beendigung seiner Studien folgte Westphal einem Rufe als Lehrer der Mathematik an der japanischen Kaisei Gakko (Polytechnikum in Tokio). Infolge Aufhebung der deutschen Abteilung dieser Hochschule kehrte er nach Berlin zurück und trat am 1. Januar 1876 als Assistent in das Kgl. Preuß. Geodätische Institut ein. Von dort aus gab er seiner akademischen Ausbildung noch einen äußeren Abschluß, indem er im Jahre 1877 auf Grund einer Arbeit „Über chinesische und japanische Mathematik" an der Universität Halle zum *Doctor philosophiae* promovierte. Nahezu 30 Jahre, vom 1. September 1894 ab als Abteilungsvorsteher hat Westphal, dem bereits 1893 der Professortitel verliehen wurde, dem Geodätischen Institut angehört. Seine dienstlichen Aufgaben erstreckten sich vor allem auf Grundlinien „Höhen- und Winkelmessungen" sowie Wasserstandsbestimmungen mit den zugehörigen Laboratoriumsuntersuchungen.

Eine ausgezeichnete Gewandtheit und Zuverlässigkeit im wissenschaftlichen Rechnen gestaltete seine Tätigkeit besonders

Digitized by Google

erfolgreich. Sie fand ihren Niederschlag in drei größeren amtlichen Veröffentlichungen: „Über Winkel- und Seitengleichungen (1880)“, „Die Ausdehnungskoëffizienten der Küstenvermessungen (1881)“ und „Das Mittelwasser der Ostsee bei Travemünde, Marienleuchte ... (1900)“, sowie in verschiedenen kleineren zusammenfassenden oder beschreibenden Arbeiten, die zum Teil in unserer Zeitschrift erschienen sind.

Am 1. Juli 1905 trat Westphal unter Verleihung des Titels Geheimer Regierungsrat in den Ruhestand.

Während seiner ganzen amtlichen Laufbahn und darüber hinaus hat Westphal sein umfassendes Fachwissen und sein großes Organisationstalent mit seltenem Erfolge der Zeitschrift für Instrumentenkunde gewidmet und deren Entwicklung grundlegend beeinflußt. Er hat damit zugleich der deutschen Feinmechanik und Optik unschätzbare Dienste geleistet, als deren Höhepunkte seine Tätigkeit als Preisrichter auf der Weltausstellung in Chikago (1893) und seine maßgebende Mitarbeit bei den Ausstellungen in Berlin (1896) und Paris (1900) gelten dürfen.

Westphals fachwissenschaftliche und berufliche Tätigkeit füllte indes nur einen Teil seines Lebensinhaltes aus. Die heißeste Liebe galt seinem Vaterlande. Das Herz des Mannes, der als Kriegsfreiwilliger 1870/71 die Einheit Deutschlands erkämpfen half und der im Weltkrieg als Major der Landwehr-Infanterie mit ungeschwächter Energie der nationalen Verteidigung diente, gehörte vor allem den alten Kriegern. Sagt doch ein Nachruf aus diesen Kreisen: „Seine Hauptverdienste liegen auf dem Gebiete des Kriegervereinswesens. Der Deutsche Kriegerbund, der Preußische Landeskriegerverband, der Kyffhäuser-Verband — sie sind recht eigentlich sein Werk, für das er mit der ganzen Fülle seines Wissens und Könnens und in ehrlicher, patriotischer Begeisterung sich eingesetzt hat bis zum letzten Atemzuge.“

In dieser Tätigkeit kamen Westphals hervorstechende Eigenschaften zum schönsten Ausdruck, Eigenschaften, die ihn seinen Fachgenossen, insbesondere aus den Kreisen der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik, doppelt wert und unvergessen machen.

Kuratorium, Verlag und Schriftleitung der Zeitschrift für Instrumentenkunde.


Digitized by Google

Über den Einfluß der Luft auf die Schwingungsdauer des Pendels.

Von
H. Bock in Hamburg.

Bekannt sind die Störungen, die das Pendel einer Präzisionsuhr durch die Variation der Luftdichtigkeit erfährt; der Luftdruck-Koeffizient, wie er fälschlich hier und da genannt wird, spielt demgemäß beim Zeitdienst der Sternwarte eine Rolle. Als Gegenmittel wendet man neuerdings mehr und mehr die luftdichte Einkapselung des ganzen Werkes an, wobei eine stärkere Evakuierung aber durchaus nicht nötig ist; denn unter Verschluß ist die Dichtigkeit der Gasmasse konstant, und das genügt. Freilich gestattet eine schwache, etwa bis auf 650 mm Hg getriebene Luftverdünnung eine vorzügliche und bequeme Regulierung des Ganges durch Zulassen oder Absaugen von Luft, und außerdem sichert sie das feste Haften der Dichtungsflächen.

Im folgenden sollen die verschiedenen Luftdichtigkeits-Störungen zunächst elementar, d. h. durch Betrachtung der Einzelwirkungen, und darauf allgemeiner vom Standpunkt der Hydrodynamik aus untersucht werden.

A. Elementare Betrachtung.

Man kann mehrere, voneinander wesentlich verschiedene Störungsarten unterscheiden, von denen die beiden ersten allgemeiner bekannt sind.

1. Die aerostatische Störung.

Sie wurde zuerst von Bouguer im Jahre 1749 eingeführt, demselben Forscher, der 14 Jahre vorher die Lotabweichungen am Chimborazo festgestellt hatte. Sie kommt dadurch zustande, daß sich mit dem spezifischen Gewicht der Luft der Auftrieb ändert, den das Pendel erfährt; infolgedessen tritt eine mehr oder minder starke Verzögerung ein, die sich leicht rechnerisch fassen läßt. Sei J das dynamische Trägheitsmoment des Pendels, $G = V \cdot \gamma$ sein Gewicht und l der Abstand des Schwerpunktes von der Drehachse, dann ist die Schwingungsdauer, d. h. die Zeit zwischen zwei Umkehrpunkten bei hinreichend kleiner Schwungweite: $\tau = \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{G \cdot l}}$ sek. Nun wird aber G durch den Auftrieb der Atmosphäre effektiv verringert und beträgt in Wirklichkeit bloß: $G' = V \cdot \left(\gamma - \frac{p}{RT}\right)$ kg, worin p der Atmosphärendruck, T die absolute Temperatur und R die Gaskonstante der Luft, 29,27 m/Grad. Denn $\frac{p}{RT}$ ist das spezifische Gewicht der Luft in kg/m³. Da der zweite Term gegen den ersten klein höherer Ordnung ist, so kommt für τ angenähert:

$$\tau = \tau_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{p}{\gamma RT}\right) \text{ sek}, \qquad 1)$$

worin $\tau_0 = \pi \sqrt{\frac{J}{V \cdot \gamma \cdot l}}$ die Schwingungsdauer im Vakuum vorstellt.

Man bemerkt, wie vermöge des aerostatischen Einflusses nicht nur der Luftdruck p, sondern auch die Temperatur T auf τ einwirkt, weswegen eben vom „Luftdruck"-Einfluß streng genommen nicht gesprochen werden darf. — Hierzu kommt:


Digitized by Google

2. Die aerodynamische Störung.

Die Notwendigkeit dieser Korrektion ist schon 1786 durch Dubuat erkannt worden, wurde aber erst 1826 durch Bessels Untersuchungen über die Länge des Sekundenpendels (Ostwalds Klassiker Nr. 7) Gemeingut. Die Störung ergibt sich dadurch, daß der Pendelkörper bei seiner Bewegung sozusagen ein gewisses Luftquantum mitführt, wodurch sein Trägheitsmoment scheinbar vergrößert wird, und zwar um so mehr, je schwerer die Luft spezifisch ist. Bessel behandelt auch den Fall, daß Körper- und Verdrängungsschwerpunkt nicht zusammenfallen und weist darauf hin, daß die Luftbewegung mit der des Pendels nicht synchron zu geschehen braucht. Die Art, wie er das Problem anfaßt, ist ungemein interessant, besonders die Bestimmung der einzigen von der Pendelform abhängigen Hilfsgröße aus der Beobachtung zweier Pendel. Bruns bemerkt hierzu 1889, daß vor Bessel nur der Auftrieb berücksichtigt worden sei. Da die vorliegende Abhandlung nur von Uhrpendeln handelt, so interessiert uns im wesentlichen bloß die Änderung des Lufteinflusses, und nicht seine absolute Größe; die umfangreiche Literatur über freie Pendel für Schwerebestimmungen (vgl. Furtwängler, Enzyklopädie der math. Wiss. IV, 7, Nr. 11—16) hat daher mit unserm Thema ebenfalls wenig zu tun. Wir wollen einfach so vorgehen: sei Q das als volumenbeständig und reibungsfrei beweglich vorgestellte mitgeführte Quantum, das man sich in der Nachbarschaft des Pendelschwerpunktes befindlich denken möge. Dann wird J um den Wert

$$\Delta J = Q \cdot \frac{l^2}{g} \cdot \frac{p}{RT} \, \mathrm{kg \cdot m \cdot sek^2}$$

vergrößert, und τ jetzt, weil ΔJ gegen J klein ist:

$$\tau = \tau_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{Q}{J} \cdot \frac{l^2}{g} \cdot \frac{p}{R \cdot T}\right) \text{ sek}, \qquad 2)$$

worin τ_0 wieder die Schwingungsdauer im Vakuum wäre.

Durch Verbindung der Gleichungen 1) und 2) kommt mit starker Annäherung:

$$\tau = \tau_0 \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{Q}{J} \cdot \frac{l^2}{g}\right) \cdot \frac{p}{R \cdot T}\right] \text{ sek.} \qquad 3)$$

Man beachte, daß bei unserer Auffassung weder die statische, noch die dynamische Störung an sich eine dissipative, Energie zerstreuende Wirkung ausübt und somit auch keine Dämpfung veranlaßt; anders ist es mit der jetzt unter Nr. 3 zu besprechenden Störung.

3. Die sogenannte Reibungsstörung.

Stokes beschäftigte sich 1850 im Anschluß an die Arbeiten Bessels mit dieser Störung; auf seine Resultate kommen wir noch zurück. Dadurch, daß der Pendelkörper die Luft in Bewegung und Turbulenz bringt, wird Energie in Wärmeform in die Umgebung abgegeben; die Folge ist eine Dämpfung, die die Schwungweite des freien Pendels allmählich abklingen läßt. Freilich sind noch andere Energie verzehrende Umstände vorhanden, besonders bei dem durch den Gang an das Uhrwerk angeschlossenen Pendel; aber sie treten gegen die Luftreibung quantitativ zurück, und wir dürfen sie uns als in die Luftreibung mit einbegriffen vorstellen. (Vgl. meinen Aufsatz in Nr. 46 der *Deutsch. Uhrmacherztg., Jahrgang 1922*).

Ist k das dem Pendel bei der Winkelgeschwindigkeit 1 widerstrebende Dreh-

Digitized by Google

moment der Reibung, so lautet die Bewegungsgleichung, wofern wir Proportionalität zwischen Geschwindigkeit und Widerstand voraussetzen:

$$J \cdot \ddot{\varphi} + k \cdot \dot{\varphi} + G \cdot l \cdot \varphi = 0 .$$

Ihre den Grenzbedingungen angepaßte Lösung ist:

$$\varphi = \bar{\varphi} \cdot \sqrt{\frac{\alpha^2 + \beta^2}{\beta^2}} \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \cos\left(\beta \cdot t - \operatorname{arc\,tg} \frac{\beta}{\alpha}\right),$$

worin $\bar{\varphi}$ die Maximalauslenkung ist und

$$\alpha = \frac{k}{2 \cdot J} \text{ sek}^{-1} \tag{4}$$

die Dämpfungskonstante sowie

$$\beta = \sqrt{\frac{G \cdot l}{J} - \frac{k^2}{4 \cdot J^2}} \text{ sek}^{-1} \tag{5}$$

die Periodizitätskonstante vorstellt.

Die Ampituden müssen also nach 4) in einer geometrischen Reihe abnehmen, was schon von Gauß (Werke Band 5, *S. 382*) an der Magnetnadel während einer mäßig großen Zeit experimentell festgestellt und zur Einführung des logarithmischen Dekrementes benutzt worden ist. Ist $\bar{\varphi}_1$ die initiale Maximalauslenkung und $\bar{\varphi}_2$ die nach einer Stunde, so würde bei einem Sekundenpendel sein:

$$\bar{\varphi}_2 = \bar{\varphi}_1 \cdot e^{-\frac{k}{2 \cdot J} \cdot 3600},$$

oder logarithmiert:

$$\log \bar{\varphi}_1 - \log \bar{\varphi}_2 = \log e \cdot 3600 \cdot \frac{k}{2 J}.$$

Bei einem Versuch, den Dr. Riefler seiner Zeit auf meine Veranlassung hin angestellt hat, ergaben sich folgende Zahlen (vgl. meine Schrift „Kritische Theorie der freien Riefler-Hemmung", *S. 62*).

Stunden	$\bar{\varphi}$	$\log \bar{\varphi}$	$\Delta \log \bar{\varphi}$	
0	180′	2,25527		
			0,15490	
1	126′	2,10037		
			0,14133	
2	91′	1,95904		
			0,12653	Mittelwert 0,11338 (für 0,12653 bis 0,10146)
3	68′	1,83251		
			0,12494	
4	51′	1,70757		
			0,10551	
5	40′	1,60206		
			0,11070	
6	31′	1,49136		
			0,11115	
7	24′	1,38021		
			0,10146	
8	19′	1,27875		

Aus der angenäherten Konstanz des logarithmischen Dekrementes $\Delta \log \bar{\varphi}$ für mäßige Schwungweiten ist ersichtlich, daß die Annahme der Proportionalität zwischen Widerstand und Geschwindigkeit nicht unberechtigt war. Aus dem Mittelwerte des Dekrementes 0,113 läßt sich k nun berechnen, wenn man in Betracht zieht, daß das angewandte Sekundenpendel ein Trägheitsmoment von rund 0,7 kg·m·sek² besaß:

$$0{,}113 = 0{,}434 \cdot \frac{k}{2 \cdot 0{,}7} \cdot 3600; \qquad k = 0{,}0001 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sek}. \tag{6}$$


Digitized by Google

Da k in erster Linie dem spezifischen Gewicht der Luft proportional gesetzt werden kann, so wird:

$$k = c \cdot \frac{p}{R \cdot T},$$

oder in Zahlen:

$$c = 0{,}82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4\text{.sek.} \tag{7}$$

Entsprechend Gleichung 5) wird nun die Schwingungsdauer:

$$\tau = \frac{\pi}{\beta} = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{G \cdot l}{J} - \frac{k^2}{4 \cdot J^2}}} \text{ sek},$$

oder mit Rücksicht auf den Wert von k, d. h. wegen der Kleinheit des zweiten Termes des Radikanden:

$$\tau = \tau_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{8} \cdot \frac{c^2}{J \cdot G \cdot l \cdot R^2} \cdot \frac{p^2}{T^2}\right) \text{ sek}, \tag{8}$$

worin τ_0 wieder die Schwingungsdauer im Vakuum bedeutet. In Rücksicht auf Gleichung 3) würde jetzt folgen:

$$\tau = \tau_0 \cdot \left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\gamma} + \frac{Q}{J} \cdot \frac{l^2}{g}\right) \cdot \frac{p}{R \cdot T} + \frac{1}{8} \cdot \frac{c^2}{J \cdot G \cdot l} \cdot \left(\frac{p}{R \cdot T}\right)^2\right] \text{ sek.} \tag{9}$$

Wegen der Kleinheit von c ist jedoch der letzte Klammerwert vernachlässigbar, und man kann sagen: die dissipative Reibung ist ohne wesentlichen Einfluß auf die Größe der Schwingungsdauer. Das ist auch theoretisch vorteilhaft, denn wollten wir in dem Ausdruck für τ die dämpfende Reibungsstörung berücksichtigen, so müßten wir streng genommen auch den Einfluß des Antriebes in Betracht ziehen, und das würde recht umständlich. (Vgl. meinen Aufsatz in *dieser Zeitschr.* **42.** *1922. S. 317,* wo diese Angelegenheit für den Chronometergang erledigt ist).

Trotzdem darf man jedoch bei der Berechnung von τ die Luftreibung nicht etwa ganz vernachlässigen, und zwar wegen des indirekten Einflusses, den sie auf die Schwungweite und damit auch auf die Dauer der Schwingung ausübt. Diese Untersuchung gestaltet sich so:

4. Die Störung durch Variation der Schwungweite.

Selbst unter der Voraussetzung konstanten Antriebes variiert die Maximalauslenkung $\bar{\varphi}$ infolge der Veränderlichkeit von k.

Die Winkelgeschwindigkeit des Pendels folgt, von den kleinen Störungen abgesehen, dem Gesetz: $\dot{\varphi} = \bar{\dot{\varphi}} \cdot \sin \omega t$, worin $\omega = \frac{\pi}{\tau}$. Der Winkelweg aber ist:

$$|\varphi| = \int \dot{\varphi} \cdot dt = \frac{\bar{\dot{\varphi}}}{\omega} \cdot \cos \omega t.$$

Daraus ergibt sich:

$$\frac{\dot{\varphi}^2}{\bar{\dot{\varphi}}^2} + \frac{\varphi^2 \cdot \omega^2}{\bar{\dot{\varphi}}^2} = 1;$$

d. h. die Winkelgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$ ist über den Winkelweg φ nach einem Ellipsengesetz verteilt.

Somit ist die mittlere Winkelgeschwindigkeit längs der Bahn: $\frac{\pi}{4} \cdot \bar{\dot{\varphi}} = \frac{\pi}{4} \cdot \omega \cdot \bar{\varphi}$,

Digitized by Google

und demgemäß die pro Schwingung zuzuführende Energie, wenn die Bewegung ungedämpft verlaufen soll:

$$E = \frac{\pi}{4} \cdot \omega \cdot \overline{\varphi} \cdot k \cdot 2 \cdot \overline{\varphi} = \frac{\pi^2 \cdot \overline{\varphi}^2}{2 \cdot \tau} \cdot k \text{ kgm.} \qquad 10)$$

Unter Voraussetzung von konstantem E ist deshalb die Auslenkung der Wurzel aus k indirekt proportional: $\overline{\varphi}^2 = \frac{a}{k} = \frac{a}{c} \cdot \frac{R \cdot T}{p}$. Der Proportionalitätsfaktor a bestimmt sich etwa daraus, daß $\overline{\varphi}$ im Normalzustande 100 Bogenminuten beträgt:

$$a = 8{,}5 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sek.}$$

Damit würde nach der durch logarithmische Differentiation gewonnenen Relation $2 \cdot \frac{d\varphi}{\varphi} = -\frac{dk}{k}$ eine Amplitudenabhängigkeit vom Luftdruck in der Größenordnung von 4″/mm zu erwarten sein, während z. B. Hartmann *(Leipz. Ber., math.-physik. Kl. 49. 1897. S. 664)* einmal den Wert 1″,83 beobachtet hat. Das ist eine sehr kleine Zahl, und man kann gelegentlich 10-mal größere Werte nachweisen. Offenbar spielt hier das Verhalten der Hemmung eine ausschlaggebende Rolle.

Nun ist die Schwingungsdauer eines kleine endliche Bögen beschreibenden Pendels bekanntlich sehr genähert: $\tau = \tau_0 \cdot \left(1 + \frac{\overline{\varphi}^2}{16}\right)$ sek, worin τ_0 jetzt die Schwingungsdauer für verschwindende Auslenkung bedeutet. Somit kommt:

$$\tau = \tau_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{16} \cdot \frac{R \cdot T}{p} \cdot 10^{-3}\right) \text{ sek.}$$

Durch Zusammenfassung dieser Gleichung mit 9 ergibt sich schließlich endgültig bei Vernachlässigung des Reibungstermes für die durch die Luft gestörte Schwingungsdauer:

$$\tau = \tau_0 \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{Q \cdot l^2}{J \cdot g}\right) \cdot \frac{p}{RT} + \frac{a}{16 \cdot c} \cdot \frac{RT}{p}\right] \text{ sek.} \qquad 11)$$

τ_0 bezieht sich jetzt auf infinitesimale Bögen im Vakuum.

Durch partielle Differentiation folgt:

$$\frac{\partial \tau}{\partial p} = \frac{\tau_0}{2} \cdot \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{Q \cdot l^2}{J \cdot g}\right) \cdot \frac{1}{R \cdot T} - \tau_0 \cdot \frac{a}{16 \cdot c} \cdot \frac{R \cdot T}{p^2}, \qquad 12)$$

und:

$$\frac{\partial \tau}{\partial T} = -\frac{\tau_0}{2}\left(\frac{1}{\gamma} + \frac{Q \cdot l^2}{J \cdot g}\right) \cdot \frac{p}{R \cdot T^2} + \tau_0 \cdot \frac{a}{16 \cdot c} \cdot \frac{R}{p}. \qquad 13)$$

Aus der Erfahrung ist das tägliche Nacheilen bekannt, das durch 1 mm Barometeranstieg hervorgerufen wird. Oudemans gibt für ein Pendel mit Quecksilber-Kompensation 0,0133 sek. an, Tisserand für die Pariser Hauptuhr 0,016 sek. und Riefler bestimmt diesen Wert experimentell durch beträchtliche Evakuierung; er erhält Zahlen zwischen 0,012 und 0,018 sek. Neueren Erfahrungen folgend wollen wir den Wert 0,012 annehmen. Nunmehr läßt sich aus Gleichung 12) das sogenannte mitgeführte Quantum Q rechnerisch ermitteln; es ergeben sich 0,93 Liter:

$$Q = 0{,}00093 \text{ m}^3. \qquad 14)$$

Man vergleiche den aus der analytischen Hydrodynamik bekannten Satz, daß eine sich in reibungsloser Flüssigkeit bewegende Kugel bei Beschleunigungen


Digitized by Google

durch das Medium eine Kraft erleidet, die so groß ist, als ob ihre Masse um die Hälfte der ihren Raum einnehmenden Flüssigkeitsmasse vermehrt wäre.

Bei unserer Bestimmung von Q ist freilich vorausgesetzt, daß bei der Ermittelung des Luftdruckkoeffizienten keine Rücksicht auf etwaige Variabilität der Schwungweite genommen ist; bei Isochronismus fiele das letzte Glied aus 12) weg, und Q ergäbe sich zu 0,37 Liter.

5. Die indirekte Temperaturstörung.

Aus Gleichung 13) erhellt weiter die bemerkenswerte Tatsache, daß die Temperatur selbst bei einer die reduzierte Pendellänge $\frac{J \cdot g}{G \cdot l}$ in idealer Weise konstant haltenden Kompensation vermöge ihres Einflusses auf die Luftdichte auch auf die Schwingungsdauer einwirkt, und zwar beträgt dieser Einfluß unter mittleren Verhältnissen

$\frac{86400}{\tau} \cdot \frac{\partial \tau}{\partial T} = -0{,}03$ sek/Tag und Grad. Denn pro Tag erfolgen $\frac{86400}{\tau}$ Halbschwingungen.

Experimentatoren, z. B. Rapf, geben für diesen Wert 0,033 an: jedenfalls muß er bei der Berechnung der Temperaturkompensation berücksichtigt werden, sonst ist das Pendel „überkompensiert“, denn obiger Wert wirkt gemäß seinem Vorzeichen in umgekehrtem Sinne wie die Verlängerung der reduzierten Pendellänge durch die Temperaturdehnung der Pendelteile, d. h. er bewirkt eine Verkürzung der Schwingungsdauer bei wachsender Temperatur und damit ein Voreilen.

B. Strengere Entwicklung.

Eine strenge Lösung für die unendlich große Scheibe gab Stokes im Jahre 1850; er erwähnt dabei auch die runde Scheibe, und behandelt den Fall ihrer Rotationsschwingung um eine Drehachse. Ferner löst er die allgemeinen Gleichungen für eine oszillierende Kugel in unbegrenzter Flüssigkeit und in einer solchen, die durch eine konzentrische Kugelfläche begrenzt ist. Airy macht 1856 dazu Zusätze. Wir beschränken uns im folgenden auf den einfachsten Fall und legen den Hauptwert auf anschauliche Deutung.

1. Allgemeine Theorie.

Die unter A durchgeführte „Zerschneidung“ der physikalischen Tatsache in eine Anzahl von Einzelerscheinungen nebst nachträglicher Superposition gemäß Gleichung 11) kann, obwohl plausibel, natürlich nicht als strenge Lösung des Problems angesehen werden; sie ist vielmehr eine Annäherungslösung, weil die Störungen von höherer als erster Ordnung wegen ihrer Kleinheit außer Betracht bleiben können. Insbesondere ist die Trennung der aerodynamischen von der dissipativen Reibungsstörung bedenklich, denn beide hängen sicher eng miteinander zusammen.

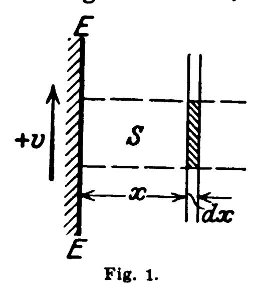


Fig. 1.

Im folgenden soll gezeigt werden, wie bei hinreichender Idealisierung der Sachlage einiges ziemlich allgemein Gültige ausgesagt werden kann. — Zu dem Zwecke stellen wir uns zunächst den unendlichen, mit zäher Luft atmosphärischen Zustandes erfüllten Halbraum vor, dessen unendlich große, materiell gedachte Begrenzungsebene EE (siehe Fig. 1) in einer festen, in ihr selbst liegenden Richtung periodische Hin- und Herbewegungen nach dem Gesetz $\bar{v} = v \cdot \sin \omega t$ ausführen möge. Hierin ist bei

Digitized by Google

einer ganzen Periode von 2 Sekunden Dauer $\omega = \frac{\pi}{1}$. Betrachten wir nun eine auf EE senkrecht stehende Luftsäule S vom Querschnitt f, so können wir, da die Luftbewegung, sofern sie laminar erfolgt, aus Symmetriegründen parallel zur Begrenzungsebene verlaufen muß, für die schraffierte unendlich dünne Scheibe die Gleichgewichtsbedingung hinschreiben:

$$\lambda \cdot f \cdot \frac{\partial v}{\partial x} - \lambda \cdot f \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \cdot dx \right) + \frac{\gamma}{g} \cdot f \frac{\partial v}{\partial t} \cdot dx = 0,$$

oder:

$$\lambda \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \frac{\gamma}{g} \frac{\partial v}{\partial t}, \tag{15}$$

eine Gleichung, die man natürlich entsprechend der Lehre von der Bewegung zäher Flüssigkeiten auch direkt hätte angeben können. Darin bedeutet λ den Koeffizienten der Zähigkeit; außerdem ist die Luft wegen der vorausgesetzten geringfügigen Druckunterschiede als inkompressibles Medium behandelt.

Die den Randbedingungen $v = \bar{v} \cdot \sin \omega t$ für $x = 0$ und $v = 0$ für $x = \infty$ genügende stationäre Lösung von 15) lautet:

$$v = \bar{v} \cdot e^{-\alpha x} \cdot \sin(\omega t - \alpha x), \tag{16}$$

worin $\alpha = \sqrt{\frac{\gamma \cdot \omega}{2 \lambda \cdot g}}$ ist.

Es handelt sich also um eine fortschreitende Welle von der Länge

$$\frac{2\pi}{\alpha} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{2 \lambda g}{\gamma \cdot \omega}} \text{ m}$$

mit der Fortschreitungsgeschwindigkeit $\frac{\omega}{\alpha} = \sqrt{\frac{2 \lambda g \cdot \omega}{\gamma}}$ m/sek und dem Extinktionskoeffizienten $\varkappa = \frac{\alpha \cdot \frac{2\pi}{\alpha}}{2\pi} = 1$. Wegen der geringen Größe von λ flaut die Bewegung mit zunehmender Entfernung von der Wand selbst bei kleinem ω, mit andern Worten bei kleiner Schwingungsfrequenz der Wandbewegung sehr schnell ab, so daß nur eine dünne Grenzschicht der Atmosphäre an ihr merkbar teilnimmt, wie man auch leicht experimentell konstatieren kann, wenn man eine Kerzenflamme in die Nachbarschaft der bewegten Pendellinse bringt.

Jetzt läßt sich die Schubkraft, die von der Flächeneinheit der Wand jeweilig auf die Luftschicht und umgekehrt ausgeübt wird, leicht ermitteln; sie beträgt:

$$K = \lambda \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)_{x=0} = -\lambda \cdot \bar{v} \cdot \alpha \cdot (\cos \omega t + \sin \omega t), \tag{17}$$

oder:

$$K = -\lambda \cdot \bar{v} \cdot \alpha \cdot \sqrt{2} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4} \right) \text{ kg/m}^2, \tag{17a}$$

d. h. die der Geschwindigkeit v entgegengerichtete „Reibungskraft" hinkt hinter der Bewegung selbst um ein Achtel Periode nach. Fig. 2 veranschaulicht diese Sachlage über der Zeit als Abszisse. Wie schon bemerkt, hat bereits Bessel hierauf hingewiesen.

Die instantane Auslenkung y der Wand aus ihrer Mittellage ist

$$y = \int v \cdot dt = -\frac{\bar{v}}{\omega} \cdot \cos \omega t;$$

Digitized by Google

sie ist in derselben Richtung als positiv betrachtet wie v. Ist $\bar{y}$ der Maximalwert von y, so kann man Gleichung 17) auch so schreiben:

$$K = +\,\omega \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot \omega \cdot \lambda}{2 \cdot g}} \cdot \left[y - \sqrt{\bar{y}^2 - y^2} \right] \text{ kg/m}^2. \tag{18}$$

Man beachte, daß y für $t = 0$ negativ ist..

Der erste Anteil von K, nämlich

$$K_1 = \omega \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot \omega \cdot \lambda}{2g}} \cdot y, \tag{18a}$$

wird in Abbildung 3, die den Widerstand längs der Schwingungsbahn charakterisiert, durch die gerade Linie dargestellt und kann als der durch die Beschleunigung der mitgeführten fiktiven Luftmenge Q erzeugte Trägheitswiderstand gedeutet werden; der andere Teil dagegen

$$|K_2| = \omega \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot \omega \cdot \lambda}{2g}} \cdot \sqrt{\bar{y}^2 - y^2} \tag{18b}$$

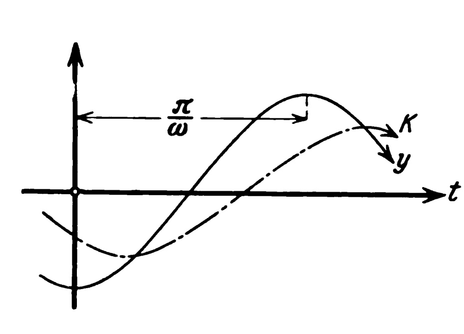


Fig. 2.

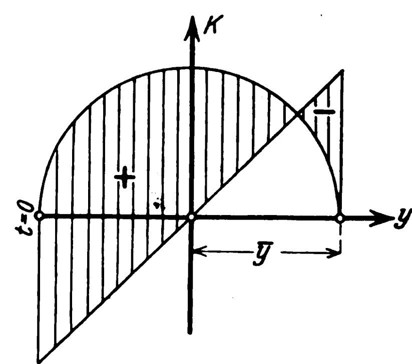


Fig. 3.

wird in der Figur durch den Halbkreis repräsentiert und läßt sich als der dissipativ wirksame, der Geschwindigkeit proportionale Reibungswiderstand betrachten, weil sich $\sqrt{\bar{y}^2 - y^2}$ gleich $\frac{v}{\omega}$ ergibt. — Diese anschauliche Deutung der Gleichung 18) ist der Kernpunkt unserer Überlegungen.

Die vom Reibungswiderstand bei jeder Schwingung absorbierte Energie beträgt, da $\frac{\pi}{4} \cdot r$ die mittlere Höhe eines Halbkreises vom Radius r ist:

$$E = \frac{\pi}{4} \cdot \omega \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot \omega \cdot \lambda}{2g}} \cdot \bar{y} \cdot 2\bar{y} \text{ mkg/m}^2, \tag{19}$$

ein Wert, der sich auch durch Integration der in der unendlich langen Säule S (Abb. 1) erzeugten Reibungswärme ermitteln läßt:

$$E = \int_0^\infty \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} \lambda \cdot \frac{\partial v}{\partial x} \cdot \left[\left(v + \frac{\partial v}{\partial x} dx \right) - v \right] \cdot dt = \lambda \cdot \int_0^\infty \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \cdot dx \cdot dt.$$

Der Faktor vor der Klammer ist die Reibungskraft auf der Oberfläche der Schicht von der Dicke dx, und der Wert in ihr die Relativgeschwindigkeit der beiden angrenzenden Schichten gegeneinander.

Digitized by Google

Gleichung 19) ergibt übrigens die dem Pendel vom Werk pro Hub zuzuführende Energiemenge, die sich für eine maximale Auslenkung von 100′ oder 0,029 m, an der Linse gemessen, auf folgenden Wert stellt:

$$E = \pi \cdot \omega \cdot \sqrt{\frac{\gamma \omega \lambda}{2g}} \cdot \bar{y}^2 \cdot F = 0{,}25 \text{ g.mm.}$$

Vgl. auch Gleichung 10).

2. Anwendung auf das Pendel.

Wir stellen uns dasselbe als mit einer großen, sehr flachen und scharfkantigen Linse ausgerüstet vor, die nur eine kleine Bewegungsamplitude besitzt. In solchem Falle spielen bei der geringen Dicke der aktiven Grenzschicht die Randstörungen vermutlich eine verhältnismäßig untergeordnete Rolle, so daß wir berechtigt sind, die beiden Seitenflächen der Linse von je F m² Inhalt als Ausschnitte aus der unter Nr. 1 betrachteten unendlichen Ebene zu behandeln.

Wir sind jetzt in der Lage, die im Abschnitt A eingeführten Größen des mitgeführten Quantums Q und der Reibungsziffer k einer Nachprüfung zu unterziehen.

α. Das mitgeführte Luftquantum.

Ist d die Dicke der mitgeführten Luftschicht auf jeder Seite der Linsenfläche, so wird $Q = 2 \cdot F \cdot d$, und weiter nach dem dynamischen Grundgesetz und nach Gleichung 18a):

$$2 \cdot K_1 \cdot F = \frac{\gamma}{g} \cdot 2 \cdot F \cdot d \cdot \omega^2 \cdot y,$$

denn die Beschleunigung der Pendelscheibe beträgt unter Voraussetzung der Sinusbewegung

$$|\ddot{y}| = \bar{y} \cdot \omega^2 \cdot \cos \omega t = y \cdot \omega^2.$$

Durch Einsetzen folgt:

$$d = \sqrt{\frac{\lambda \cdot g}{2\omega \cdot \gamma}} \; m. \tag{20}$$

Da für Luft im Normalzustande λ zu etwa $1{,}8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg. sek}}{\text{m}^2}$ angegeben wird und $\gamma = 1{,}29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ gesetzt werden kann, so kommt für d der Wert 0,15 cm. Die elementar gewonnene Luftmenge von 370 cm³ wird demnach nur bei einer großen Pendelscheibe erreicht. Nur diese Menge, nicht 930 cm³, kommt in Frage, weil bei K_1 auf Anisochronismus keine Rücksicht genommen ist. Daraus kann gefolgert werden, daß bei der wirklichen „Linse" die Randstörungen doch nicht ganz ohne Bedeutung sind. Wir kommen auf den Sicherheitsgrad unserer d-Bestimmung unten noch einmal zurück.

β. Die Reibungsziffer.

Weiter läßt sich k jetzt so errechnen: Ist l die Pendellänge bis zum Linsenmittelpunkt gerechnet, sowie φ der Pendelausschlag, so muß sein:

$$2 \cdot K_2 \cdot F \cdot l = k \cdot \dot{\varphi}.$$

Das gibt für die Mitte der Schwingungsbahn wegen $y = l \cdot \varphi$:

$$2\omega \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot \omega \cdot \lambda}{2g}} \cdot l^2 \bar{\varphi} \cdot F = k\dot{\varphi} = k \cdot \omega \cdot \bar{\varphi}.$$

Also wird:

$$k = 2 \cdot F \cdot l^2 \sqrt{\frac{\gamma \cdot \omega \cdot \lambda}{2g}} \; \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sek}. \tag{21}$$


Digitized by Google

Hier ist der Widerstand nicht mehr zu γ proportional, sondern zu $\sqrt{\gamma}$. Veranschlagt man bei unserm Sekundenpendel F auf 500 cm², so ergibt sich k zu 0,00006 kg·m·sek. Dieser im Vergleich zu den experimentellen Ergebnissen (vgl. Gleichung 6) etwas kleine Wert wird dadurch verständlich, daß wir es hier nicht mit einem gewöhnlichen Pendelkörper zu tun haben, wie ihn Dr. Riefler bei seinen Dämpfungsversuchen angewandt hat, sondern mit einer ganz flachen Scheibe von wesentlich geringerem Querprofil. Die Übereinstimmung ist jedenfalls befriedigend, zumal da die sicher auftretenden Randstörungen, die Turbulenzerscheinungen und der Stangenwiderstand nicht mit in Rechnung gesetzt werden konnten. — Berücksichtigt man diese sich der exakten Behandlung entziehenden Begleitumstände durch einen Korrekturfaktor ζ, so muß man also schreiben:

$$k = 2 \cdot \zeta \cdot F \cdot l^3 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot \omega \cdot \lambda}{2 g R \cdot T}} \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{sek.} \qquad 21\text{a)}$$

und ζ rund gleich 1,5 setzen. Für geometrisch ähnliche Linsen, die das Reynoldsche Ähnlichkeitsgesetz erfüllen, bleibt ζ dasselbe, sofern man vom Stangenwiderstande absieht. Dies Gesetz ist befriedigt, sobald die beiden Seiten der Differentialgleichung 15) bei allen diesen Linsen im gleichen Verhältnis stehen, d. h. wenn der Ausdruck $\frac{\gamma}{g \cdot \lambda} \cdot v \cdot D$ eine Konstante ist, worin v die Geschwindigkeit und D etwa der Linsendurchmesser. Da nun beim Pendel für hinreichend kleine Auslenkung $\bar{y}$ die Beziehung gilt: $\bar{v}^2 = g \cdot l \cdot \frac{\bar{y}^2}{l^2}$, so heißt das: ζ ist für diejenige Linsenfamilie dasselbe, bei der $\frac{\bar{y} \cdot D}{\sqrt{l}} \sim \frac{\bar{y} D}{\tau}$ für alle Mitglieder den gleichen Wert hat.

Interessant ist, daß in ζ auch ein thermodynamisches Problem steckt. Bei der Verbiegung steigt nämlich die Entropie der Aufhängefeder des Pendels, wobei ein Teil ihrer Formenergie in entwertete Wärme übergeht. In *dieser Zeitschr.* **38.** *1918. S. 109,* habe ich einen oberen Grenzwert dieses Verlustes unter der Annahme berechnet, daß die Deformation adiabatisch, d. h. unendlich rasch vor sich gehe, worauf im Umkehrpunkt ein hinreichender zeitlicher Stillstand eintreten möge, um der in den Druckfasern produzierten Wärme einen restlosen Übergang in die abgekühlten Zugfasern zu gestatten. Wenn man nur auf Biegungsbeanspruchung Rücksicht nimmt, so stellt sich dieser Energieverlust pro Halbschwingung auf

$$V = \frac{A \cdot \alpha^2 \cdot l \cdot T}{J \cdot c \cdot \gamma} \cdot M^2 \text{ g}\cdot\text{cm},$$

worin A das mechanische Wärmeäquivalent in cal/g·cm, α der Temperatur-Ausdehnungskoeffizient der Feder, c ihre spezifische Wärme und γ ihr spezifisches Gewicht; l sei die Federlänge (0,4 cm), J ihr äquatoriales Trägheitsmoment ($0{,}67 \cdot 10^{-7}$ cm⁴), T die Außentemperatur und M das maximale Biegungsmoment, das für ein normales Rieflerpendel auf 31,3 g·cm veranschlagt werden kann. Mit diesen Zahlen ergibt sich der Grenzwert des Verlustes, der in praxi natürlich lange nicht erreicht wird, zu 0,0066 g·cm pro Halbschwingung. Er bedeutet also eine thermodynamisch bedingte elastische Nachwirkung der Feder, die in den Widerstandskoeffizienten k mit eingeht. Da der Ausdruck für V mit α^2 wächst, so zeigt sich ein neuer Vorzug der Nickelstahlfeder vor der normalen: bei ihr ist der thermische Nachwirkungseffekt wegen des geringen α besonders klein.

Digitized by Google

γ. Die Schwingungsdauer.

Schließlich wollen wir die Schwingungsdauer berechnen, die sich unter dem Einfluß der Kraft K_1 einstellt. Das dissipativ wirksame K_2 ist, wie schon unter A, 3 festgestellt wurde, ohne wesentlichen Einfluß und kann deshalb beiseite gelassen werden. K_1 erzeugt ein der Schwere entgegenwirkendes Moment von der Größe $2 \cdot F \cdot K_1 \cdot l$, und ebenso wirkt der aerostatische Auftrieb, der ja von den unter B angestellten hydrodynamischen Betrachtungen nicht betroffen wird und demgemäß in der unter A aufgestellten Form beibehalten werden kann. Das resultierende zurückdirigierende Moment hat somit beim Ausschlage φ den Wert:

$$H = G\left(1 - \frac{p}{\gamma_1 R \cdot T}\right) \cdot l \cdot \varphi - 2 F K_1 \cdot l,$$

worin γ_1 das spezifische Gewicht des Pendelmaterials ist, das auf rund 8000 kg/m³ veranschlagt werden kann. Damit wird die Schwingungsdauer

$$\tau = \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{Gl - \left(G \cdot \frac{p \cdot l}{\gamma_1 RT} + 2F \cdot \omega \sqrt{\frac{\gamma \omega \lambda}{2g}} \cdot l^2\right)}}.$$

Entwickelt man den Nenner binomisch und vernachlässigt wegen der Kleinheit des Klammertermes vom zweiten Gliede an, so kommt, wenn τ_0 die Schwingungsdauer im Vakuum bedeutet:

$$\tau = \tau_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{p}{\gamma_1 R \cdot T} + \frac{F \cdot \omega \cdot l}{G} \cdot \sqrt{\frac{p \cdot \omega \cdot \lambda}{2g RT}}\right) \text{ sek.} \qquad 22)$$

Neben dem dissipativen Gliede ist hier auch die Variation der Schwungweite außer acht gelassen, und zwar unter der Voraussetzung, daß es dem Konstrukteur gelungen sei, durch passende Wahl der Aufhängefeder oskulierenden (d. h. innerhalb des wesentlichen Bereiches der Schwungweite bestehenden) Isochronismus herzustellen. (Vgl. Wanach, *Astronom. Nachr.* ***203.*** *Sept./Okt. 1916*; ferner Bock, *diese Zeitschr.* ***38.*** *1918, S. 109*; sowie Laugier und Winnerl, *Compt. rend.* ***21.*** Paris 1845). Der Einfluß gemessener Auslenkungsvariationen kann natürlich auch vom Beobachter rechnerisch eliminiert sein.

Da λ innerhalb eines genügend breiten Bereiches als vom Druck unabhängig angesehen werden kann (vgl. Prandtl, Flüssigkeits- und Gasbewegungen, *S. 16*), und da $\omega = \frac{\pi}{\tau}$ ist, so folgt aus 22) durch Differentiation nach p:

$$\frac{\partial \tau}{\partial p} = \frac{\tau_0}{2\gamma_1 RT} + \frac{\tau_0 \cdot F \cdot l}{G} \sqrt{\frac{\lambda \cdot \pi^3}{2gRT}} \left(\frac{1}{2\sqrt{p \cdot \tau^3}} - \frac{3}{2}\sqrt{\frac{p}{\tau^5}} \cdot \frac{d\tau}{dp}\right). \qquad 23)$$

Das durch einen Barometeranstieg von 1 mm Hg verursachte tägliche Verlieren der Uhr, d. h. eben der Luftdruckkoeffizient x, wird nunmehr, da die Proportion

$$\frac{\tau + \frac{d\tau}{dp}}{\tau} = \frac{86400 + x}{86400}$$

gilt, p aber in mm Hg und nicht in kg/m² eingesetzt werden soll:

$$x = 86400 \cdot \frac{1}{\tau} \cdot \frac{d\tau}{dp} \cdot \frac{10000}{760}. \qquad 24)$$

Digitized by Google

Durch Elimination von $\frac{d\tau}{dp}$ aus 23) und 24) ergibt sich schließlich bei Vernachlässigung des letzten Klammerterms von 23):

$$x = \frac{568}{R \cdot T \cdot \gamma_1} \cdot \left[1 + \frac{\pi \cdot l \cdot F \cdot \gamma_1}{G \cdot \tau} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \lambda \cdot R \cdot T}{2g \cdot \tau \cdot p}}\right] \cdot 10^3 \qquad 25)$$

sek/Tag und mm Hg als Barometerkoeffizient.

Nach Einsetzen unserer Zahlenwerte kommt, wenn das Pendelgewicht sinngemäß mit 7 kg eingeführt wird:

$$x = 0{,}009 \text{ sek/Tag und mm Hg.}$$

Diese Zahl beträgt 75% der Rieflerschen von 0,012 sek, die nach neueren Erfahrungen als reichlich groß angesehen werden muß. Man darf also auch hier die Ergebnisse unserer Überlegungen als durchaus befriedigend bezeichnen.

Damit ist auch die unter *B*, *2*, *α* durchgeführte Bestimmung des sogenannten mitgeführten Volumens gewissermaßen experimentell verifiziert, denn beide Überlegungen basieren auf der Aussage der Gleichung 18a).

In analoger Weise können wir jetzt den unter A, 5 schon einmal behandelten Temperatureinfluß auf das vollkommen kompensierte Pendel ermitteln. Wir bestimmen $\frac{\partial \tau}{\partial T}$ aus 22), indem wir $\omega = \frac{\pi}{\tau}$ als Konstante betrachten; der dadurch erzeugte Fehler ist klein höherer Ordnung:

$$\frac{\partial \tau}{\partial T} = - \frac{\tau_0 \cdot p}{2 \cdot \gamma_1 \cdot R \cdot T^2} - \frac{\tau_0 \cdot F \cdot \omega \cdot l}{2 \cdot G \cdot T} \cdot \sqrt{\frac{p \cdot \omega \cdot \lambda}{2gR \cdot T}}. \qquad 26)$$

Da pro Tag $\frac{86400}{\tau}$ Halbschwingungen erfolgen, so beträgt die gesuchte Abweichung:

$$\delta = - \frac{86400}{\tau} \cdot \frac{\partial \tau}{\partial T} \text{ sek/Tag und Grad.} \qquad 27)$$

Bei unseren Zahlenwerten bedeutet das:

$$\delta = -0{,}024 \text{ sek/Tag und Grad,}$$

ein Wert, der zu den experimentellen Angaben in ähnlichem Verhältnis steht, wie die anderen ohne Rücksicht auf Randstörungen ermittelten Zahlen.

Man darf also schließlich aus den Betrachtungen über k, x und δ den Schluß ziehen, daß die begrenzte Scheibe um circa 30% stärker den Beeinflussungen durch die Atmosphäre unterliegt als ein gleich großes Stück der unbegrenzten Ebene.

Zusammenfassung. Getrennt voneinander sind fünf verschiedene Einflüsse feststellbar, die von der Atmosphäre auf die Pendelbewegung ausgeübt werden. Durch eine strengere hydrodynamische Untersuchung eines Falles mit den einfachsten denkbaren Randbedingungen gelingt es, zwei derselben, die aerodynamische und die dissipative Störung, unter einem einheitlichen Gesichtspunkt zu begreifen, eine Aufgabe, die für das kugelförmige Pendel z. B. durch Lamb (Lehrbuch der Hydrodynamik) behandelt ist. — Für die Widerstandsziffer k, den Druckkoeffizienten x und den indirekten Temperaturkoeffizienten δ werden Ausdrücke abgeleitet.

Digitized by Google

Mikrometer und Meßapparate I.

Von
Dr. P. Duckert in Berlin-Lichterfelde.
(Mitteilung aus den Askania-Werken A.-G. in Berlin-Friedenau.)

In dem Arbeitsgebiet der Askania-Werke A. G. spielen Mikrometer und Meßapparate eine besonders große Rolle, da ein beträchtlicher Teil der Erzeugnisse der Astro-Abteilung in ihrer Wirkungsweise auf die feine Schraubenspindel als Vermittler einer exakten Bewegung angewiesen ist. Im folgenden sollen einmal die verschiedenen Arten der Meßapparate und Mikrometer, wie sie von der neuzeitlichen astronomischen Meßkunst gefordert werden, und auch ein Teil der mit ihnen ausgerüsteten Instrumentarien berührt werden.

Ein Mikrometer oder ein Meßapparat gelangt ja bekanntlich überall dort zur Anwendung, wo es darauf ankommt, kleine Größendifferenzen mit möglichst großer Genauigkeit zu bestimmen. Alle Meßapparate, die mit Meßschrauben ausgerüstet sind, sind im allgemeinen ungeeignet, exakte Messungen von großen Strecken und Entfernungen auszuführen, es sei denn, daß ein Zwischenglied in Form eines Normalmaßstabes usw. eingeführt ist, das die Messungen wieder auf eine solche von Differenzen kleiner Größenordnung zurückführt. Wie man schon rechnerisch bei Bestimmungen, die allergrößte Genauigkeit erfordern, immer nur kleine Korrektionen zu ermitteln sucht, so auch hier bei Mikrometern und Meßapparaten, und zwar nicht nur bei den mit Schrauben ausgerüsteten Instrumenten.

Die Astronomie versteht unter Mikrometer in erster Linie Apparate, die in Verbindung mit einem Fernrohr als verbesserter Visierlinie es gestatten, Messungen von kleinen Differenzen der Himmelskoordinaten scheinbar benachbarter Punkte an der Sphäre auszuführen. Die Art der Koordinaten ist dabei relativ gleichgültig, ganz nach ihrer Auswahl hat man die Einzelheiten der Meßinstrumentarien zweckmäßig gestaltet. Die Ausmessung bei dieser Art geschieht in der Bildebene des zur Abbildung benutzten Fernrohrobjektives. Die Berechtigung hierzu leitet sich aus dem Elementarsatz der Dioptrik ab, daß ein durch den vorderen Knotenpunkt eines optischen Systems einfallender Strahl dasselbe parallel dazu als vom zweiten Knotenpunkt ausgehend wieder verläßt. Objekt- und Bildseite sind daher in bezug auf die beiden Knotenpunkte vollkommen ähnlich. Eine genaue Vermessung des Bildes gestattet also einen absolut sicheren Rückschluß auf die Wirklichkeit. Speziell gestattet sie bei fundamentaler Festlegung eines Bildpunktes, beispielsweise eines besonders markanten Sternes, mittels eines astronomischen Fundamentalinstrumentes (Meridiankreis, Passageinstrument) eine absolute Festlegung sämtlicher durch relative Messungen angeschlossener Objekte an der Himmelssphäre. Diese Tatsache ermöglicht eine erhebliche Arbeitsteilung bei den astronomischen Beobachtungen und vor allem eine Erweiterung der Himmelsforschung auch auf Objekte, die sonst bei den aus Stabilitätsgründen mäßig dimensionierten Fundamentalinstrumenten der Erfassung vollkommen entgehen. Auch diese können daher durch Mikrometeranschlüsse mittels eines großen Refraktors oder Spiegels von erheblichen Dimensionen der Messung zugänglich gemacht werden.

Eine noch wesentlichere Erweiterung unserer Kenntnisse vom Weltall bringen die Plattenmeßapparate mit sich. Jeder weiß, daß es der Himmelsphotographie vorbehalten war, uns einen Schritt weiter zu bringen in der Messung der Objekte, die dem selbst mit Fernrohr bewaffneten Auge infolge der Lichtschwäche nicht sichtbar werden konnten. Die photographische Platte ermöglicht dies infolge der Eigenschaft


Digitized by Google

durch Summation beliebig vieler schwacher Lichteindrücke einen Effekt hervorzurufen und eine Fixierung vorzunehmen. Der Plattenmeßapparat macht es sich nun zur Aufgabe, die linearen Entfernungen auf den so hergestellten Himmelsbildern auszuwerten und ihre Überführung in astronomische Koordinaten zu gestatten.

Endlich seien noch die kleinen Mikrometer erwähnt, die nur die Beziehung einzelner mechanischer Teile eines Instrumentariums zueinander auszuwerten gestatten sollen, wie etwa die Kreisablesungen bei Universal-, Passage- und Meridianinstrumenten usw.

Die Nutznießung der Mikrometer und Meßapparate kommt aber nicht nur der Astronomie allein, sondern auch den eng verwandten Gebieten der Astrophysik und reinen Physik zugute, wenn man beispielsweise an Goniometer, Spektrometer und Spektrographen denkt.

I. Mikrometer.

Die überaus große Anzahl von Mikrometern, die man etwa seit Ende des 17. Jahrhunderts zur Verwendung brachte, läßt sich in zwei große Gruppen einteilen. Die erste umfaßt die Meßeinrichtungen, bei denen eine einfache Vermessung des Bildes direkt oder indirekt vorgenommen wird; die zweite enthält alle Mikrometer, deren Meßprinzip auf einer Vervielfachung des zu vermessenden Bildes beruht. Unter den ersteren unterscheidet man wieder solche, die in sich vollkommen unverändert bleiben uud eine Bewegung des Bildes zur Messung verwerten (Kreis-, Ring-, Balken-, Netz- und Lamellen-Mikrometer), und andere, bei denen Veränderungen des Mikrometers in sich wie etwa Drehung oder Fortbewegung mittels Meßschrauben einzelner Mikrometerteile zur Messung benutzt werden (Schrauben-, Positions-Mikrometer). Die zweite Hauptgruppe findet ihre Unterteile nach der Art der Entstehung des vielfachen Bildes. Eine außerordentlich weitgehende Behandlung der Theorie der einzelnen verschiedenen Instrumente mit Berücksichtigung aller Fehlereinflüsse bei der Beobachtung findet sich bei E. Becker in Valentiners Handwörterbuch der Astronomie Bd. 3, Abt. I, auf die ich hier verweisen möchte.

Irgendein Mikrometer ganz allgemein zu bevorzugen wäre vollkommen verfehlt, da jedes für bestimmte Spezialzwecke in der Hand eines gewissenhaften Beobachters sehr gute Resultate zeitigen kann. Sicher die einfachsten Instrumente sind die an erster Stelle erwähnten Balken- und Kreis-Mikrometer. Beide finden heute nur noch an Refraktoren für einzelne Spezialzwecke oder aber als Universal-Mikrometer an kleinen Liebhaber-Fernrohren Verwendung, bei welchen letzteren ein Schrauben-Mikrometer viel zu kostspielig wäre. Ihr Anwendungsgebiet liegt im wesentlichen bei Anschlußbeobachtungen von Planeten und Kometen, welche relativ große Distanzen von den Anschlußsternen haben. Sie bestehen, wie der Name sagt, einfach aus kleinen gekreuzten Balken oder aus einem Ring, der in der Bildebene des Beobachtungsobjektives befestigt ist und benutzen die Tatsache, daß bei ruhendem Fernrohr das zu vermessende Gestirn sich in einer gewissen mittels Chronometer meßbaren Zeit durch das Gesichtsfeld desselben bewegt und dabei die Balken bzw. die Kreise oder den Ring, der als Mikrometer dient, durchläuft. Aus den Differenzen der Kontaktzeiten lassen sich dann die Distanzen der Gestirne in astronomischen Koordinaten errechnen. Die praktischste und in der Herstellung exakteste Art ist in dieser Kategorie das Ring-Mikrometer. Wenn auch hier auf die genannte Theorie in E. Becker, Mikrometer und Mikrometer-Messungen, verwiesen werden soll, sei es doch gestattet, etwas näher darauf einzugehen. Fig. 1 zeigt das Gesichtsfeld eines mit Ring-Mikro-


Digitized by Google

meter versehenen Instrumentes. Der Ring bestand früher aus bearbeitetem Stahl, der in Glas eingelassen bzw. auf eine planparallele Glasplatte zentrisch aufgekittet war. In neuerer Zeit geht man etwas einfacher zu Werke, indem von verschiedenen optischen Werkstätten diese Ringe nur noch so hergestellt werden, daß eine Glasscheibe, die mit starker radierbarer Silberschicht versehen ist, vom Silber befreit wird, wobei nur ein Ring wie in Fig. 1 dargestellt stehen bleibt. Der Vorteil dieser Herstellungsweise liegt auf der Hand, da sich natürlich die resultierende Silberschicht viel exakter gestalten läßt als jeder frei gedrehte Ring, der in den weitaus meisten Fällen sich verzieht oder sogar noch während des Gebrauches durch Spannungen im Stahl deformiert wird. Ein solches neueres Mikrometer mit einer Silberschicht zwischen zwei Planparallelplatten wurden im Winter 1920/21 auf der Urania-Sternwarte Berlin von G. Witt und P. Duckert einer kritischen Prüfung unterzogen. Das Ring-System entstammte den Werkstätten der C. P. Goerz A.-G., Friedenau. Die Messungen gestalteten sich bei Sternen von etwa vierter bis achter Größenklasse am 12″-Refraktor der Urania-Sternwarte (Hersteller Askania-Werke A.-G., Friedenau) außerordentlich genau, jedenfalls besser als an einem der Sternwarte gehörenden Mikrometer alten Typs mir unbekannter Herkunft. Leider stellte sich bei einer längeren Beobachtungsreihe, die zum Zweck der Radienbestimmung der Ringe angestellt war, heraus, daß die beiden den Silberring begrenzenden Kreise entweder nicht genau konzentrisch waren

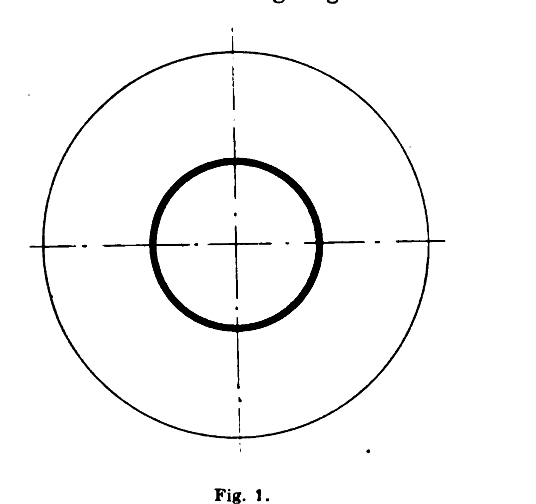


Fig. 1.

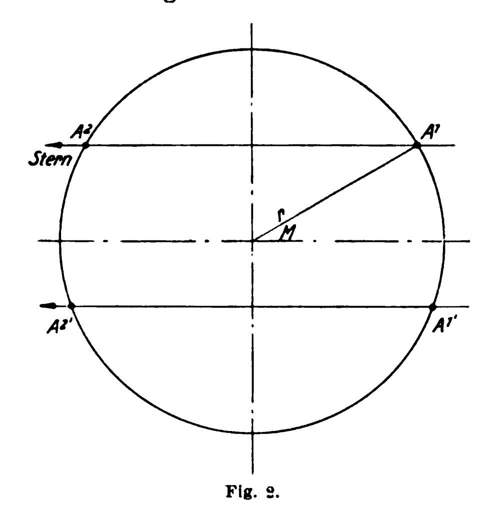


Fig. 2.

oder aber mindestens einer derselben nicht kreisförmig war. Ein wesentlich größerer Mangel an diesem Instrument war aber die Tatsache, daß bei Beobachtung hellerer Sterne als vierter Größe die gleiche Genauigkeit nicht mehr gewährleistet werden konnte, da die Silberschicht dann durchsichtig war und die Sterne überhaupt nicht ganz verschwanden, sondern blaue Spuren durch den Ring zogen. Eine eindeutige Wahrnehmung der Kontaktzeiten war damit nicht mehr gewährleistet. Später hat P. Duckert verschiedene Versuche unternommen, diesen Übelstand zu beseitigen, sei es durch dichtere Silberschichten, sei es durch andere Metall-Niederschläge, sei es auf Vorschlag von G. Witt durch chemische Zersetzung dieser Niederschläge. Die Versuche an einem kleinen Fernrohr der Askania-Werke A.-G. im Sommer 1922 waren, trotzdem sie eine Besserung zeigten, doch mehr oder weniger von negativem Erfolg. Ende 1922 gelang es endlich, im Laboratorium der Askania-Werke A.-G. eine haltbare und einwandfreie Präparierung der Silberschicht vorzunehmen, die diesen Übel-

Digitized by Google

stand nicht mehr hat. Die so hergestellten Ring-Mikrometer stellen ein äußerst einfaches und verhältnismäßig billiges Instrument dar, dessen Benutzung Liebhaber-Astronomen und auch den Instituten an Stelle des bisherigen Stahl-Mikrometers nur empfohlen werden kann, um so mehr den ersteren die unnötige Verteuerung erspart bleibt, die eine Beleuchtung des Mikrometerfeldes immer mit sich bringt. Die Theorie, die an der schon oben zitierten Stelle in aller Ausführlichkeit entwickelt ist, sei hier nur rein schematisch angedeutet. Der Fig. 2 entnehmen wir die Daten

T, D = Stundenwinkel und Deklination des dem Kreismittelpunkt durch das Objektiv zugeordneten Punktes an der Sphäre.

α, δ = die Koordinaten eines Gestirns.

r = der Radius des Kreises.

A_1, A_2 = die Kontaktzeiten des Sterndurchganges in Sternzeit ausgedrückt.

Dann gilt offenbar, wenn man noch $\frac{A_1 + A_2}{2} = A$ bezeichnet, das Gleichungssystem:

$$A - \alpha - T = 0$$
$$\cos r = \sin \delta \cdot \sin D + \cos \delta \cdot \cos D \cdot \cos 15\,(T - A_1 + \alpha)$$
$$\cos r = \sin \delta \cdot \sin D + \cos \delta \cdot \cos D \cdot \cos 15\,(A_2 - \alpha - T);$$

ebenso für ein anderes Objekt:

$$A' - \alpha' - T = 0$$
$$\cos r = \sin \delta' \cdot \sin D + \cos \delta' \cdot \cos D \cdot \cos 15\,(T - A_1' + \alpha')$$
$$\cos r = \sin \delta' \cdot \sin D + \cos \delta' \cdot \cos D \cdot \cos 15\,(A_2' - \alpha' - T).$$

Die Kombination derselben gestattet es ohne weiteres, in aller Strenge eine Auswertung der Beobachtungen vorzunehmen. Bei nicht allzu hohen Deklinationswerten kommt man meist hingegen schon mit einer viel einfacheren Reduktion aus, die der Vollständigkeit halber ebenfalls angeführt sei:

$$15 \cdot \frac{A_2 - A_1}{2} = t, \qquad 15 \cdot \frac{A_2' - A_1'}{2} = t',$$
$$\frac{t \cdot \cos \delta}{r} = \sin p, \qquad \frac{t' \cdot \cos \delta'}{r} = \sin p',$$
$$d = r \cdot \cos p, \qquad d = r \cdot \cos p',$$
$$\alpha' - \alpha = \frac{A_1' + A_2'}{2} - \frac{A_1 + A_2}{2},$$
$$\delta' - \delta = d' - d - \frac{\sin 1''}{2} (\sin \delta' \cdot \cos \delta' \cdot t'^2 - \sin \delta \cdot \cos \delta \cdot t^2),$$

oder einfacher

$$= d' - d + (d' + d)(d' - d) \cdot \operatorname{tang} \frac{\delta + \delta'}{2} \cdot \frac{\sin 1''}{2}.$$

Die Benutzung des Ring-Mikrometers setzt natürlich die Kenntnis von r voraus. Dieses kann aber ein für allemal aus den Durchgängen von Gestirnen bekannter Koordinaten bestimmt werden. Der benötigte angulare Halbmesser r ist der Winkel, unter dem man den wirklichen Radius ϱ des Kreises vom hinteren Knotenpunkt des Objektives aus sieht. Sei die Brennweite des benutzten Objektives f, so könnte man also beispielsweise auch r aus der Gleichung bestimmen

$$\operatorname{tang} r = \frac{\varrho}{f}.$$

Digitized by Google

Ebenso führt eine Bestimmung und Ausmessung mittels eines Universal-Instrumentes als Kollimator zum Ziel. Zweckmäßig ist es aber, wie die verschiedenen Versuche und Untersuchungen gezeigt haben, daß man für jede Art von Messungen den Radius gesondert bestimmt. Will man also etwa Sterndistanzen später einmal auswerten, so legt man zweckmäßig den Radiuswert zugrunde, den man rückwärts aus den Durchgängen von Sternen bekannter Distanzen errechnet hat.

Eine wesentliche Vervollkommnung des Ring-Mikrometers und eine Erhöhung der mit ihm erreichbaren Genauigkeit stellt das von H. Kobold angegebene Positions-Ringmikrometer dar, welches aus zwei nebeneinander aufgekitteten Mikrometern der erst angegebenen Art besteht. Man gewinnt damit den wesentlichen Vorteil, mit der Auswahl der Anhaltsterne nicht so gebunden zu sein, wie aus der Fig. 3 ohne weiteres ersichtlich ist. Die das Fundament der beiden Ringe bildende Glasscheibe ist bei dieser Ausführung auf einem Positionskreis mit etwa $^{1}/_{1}{}^{0}$ Ablesung befestigt, der von Hand aus drehbar ist. Als neue Konstante des Instrumentes tritt dann allerdings noch die angulare Entfernung e der beiden Ringmittelpunkte hinzu, die aber ebenfalls leicht bestimmt werden kann. Man sieht ohne weiteres ein, daß jetzt durch entsprechende Drehung des Positionskreises die Verbindungslinie der beiden Ringmittelpunkte mehr oder weniger senkrecht zur täglichen Bewegungsrichtung der Gestirne gestellt werden kann und damit in weitem Umfange die Durchgangsstellen der mit verschiedenen Deklinationen behafteten Gestirne beliebig in den beiden Ringen verlegt werden können, um die jeweils theoretisch größte Genauigkeit zu erlangen. Die Erwähnung dieser beiden Mikrometer, die die fast einzigen heute noch hergestellten der ersten Untergruppe sind, bilde den Abschluß derselben. Sie haben die Balken-, Lamellen- und Kreuzstabmikrometer fast vollkommen verdrängt.

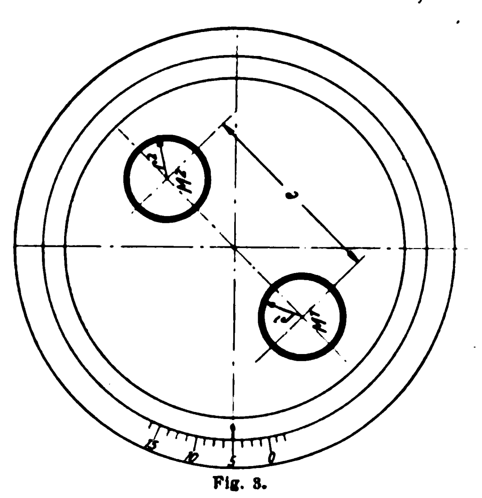


Fig. 3.

Wesentlich gebräuchlicher und verbreiteter sind die Schraubenmikrometer deren Anwendungsbereich derart groß geworden ist, daß fast jedes wissenschaftliche Instrument heute ein mehr oder weniger spezialisiertes Schraubenmikrometer trägt. Es soll hier vermieden werden, die geschichtliche Entwicklung der Mikrometer wiederzugeben, es seien daher gleich die jetzt noch üblichen verschiedenen Konstruktionen der Fadenmikrometer, wie man diese Art auch noch zu nennen pflegt, ausgeführt. Es gibt drei Haupttypen, die wie folgt charakterisiert werden sollen:

1. Das Mikrometergehäuse enthält einen festen Rahmen, in welchem mittels einer fein geschnittenen Schraube ein Schlitten bewegt werden kann. Die Größe der Bewegungen wird dann durch ganze Schraubenumdrehungen und, was Bruchteile der Ganghöhe der Schraube anbelangt, durch eine auf derselben sitzende geteilte Trommel, die mittels Index ablesbar ist, gemessen (Clarksches Mikrometer).

2. Das Mikrometer ist wie das vorhergehende mit einem festen Rahmen und einem durch Mikrometerschraube beweglichen Schlitten ausgerüstet, außerdem kann aber das Widerlager der Meßschraube innerhalb kleiner Grenzen mittels einer zweiten Schraube gegen den Rahmen verstellt werden (A. Repsold und Söhne).


Digitized by Google

3. Das Mikrometer ist wie zu 2. ausgerüstet, aber außer den beiden Schrauben ist noch eine dritte Schraube vorgesehen, die zur Verschiebung des ganzen Mikrometerwerkes in der Meßrichtung dient (Askania-Werke A.-G. — Bambergwerk).

Von diesen Haupttypen gibt es noch verschiedene Abarten, die aber praktisch ohne Belang sind, da sie mehr oder weniger nur in der verschiedenen Ausführung der genannten Fälle und der Ausrüstung der einzelnen Schrauben mit zum Teil sehr überflüssigen Trommeln ihre Begründung haben.

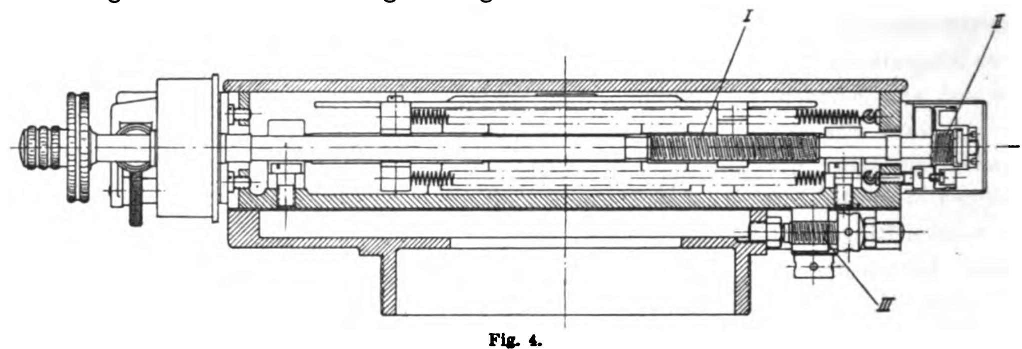


Fig. 4.

In Fig. 4 ist ein Längsschnitt durch eine moderne Mikrometertype der Askania-Werke A.-G., Friedenau dargestellt, aus der die Funktionen der in der Abbildung mit I bis III bezeichneten Schrauben deutlich ersichtlich sind. In derselben bedeutet I die eigentliche Mikrometerschraube, auf deren einwandfreien Beschaffenheit und auch Lagerung der Wert des ganzen Meßintrumentes begründet ist. II stellt die Schraube zur Verstellung des Widerlagers derselben dar, wegen des verhältnismäßig seltenen Gebrauches ist sie nicht so leicht zugänglich angeordnet, da mit ihrer Verstellung stets eine Dejustierung des Instrumentes verbunden ist. III endlich ist die Justierschraube des gesamten Mikrometergehäuses gegen den Flansch des Instrumentes. Sie ist besonders kurz gehalten, um auch der geringsten Möglichkeit des Verspannens des Mikrometergehäuses durch zu weit auseinandergelegene Angriffspunkte der Korrektionseinrichtung, das ja auf jeden Fall vermieden werden muß, vorzubeugen. Die so ausgerüsteten Instrumente sind den höchsten Anforderungen gewachsen, sie finden daher heute fast ausschließlich in den hochwertigen Erzeugnissen der vorgenannten Werkstätten Verwendung.

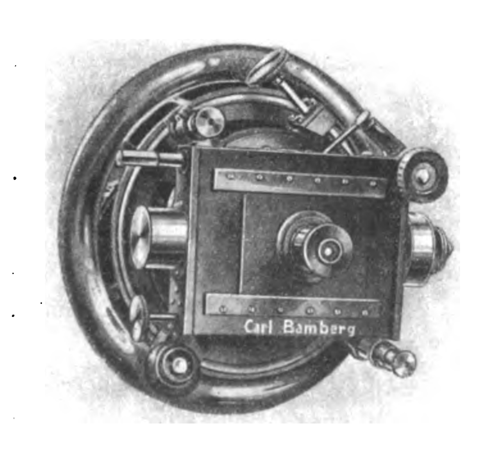


Fig. 5.

Das vorerwähnte Fadenmikrometer reicht bekanntlich aber nicht aus, um allen Beobachtungsarten gerecht zu werden, daher hat man es schon früh mit einer Drehungsmöglichkeit um die Visierlinie ausgestattet, die dem einzelnen Spezialzweck entsprechend mehr oder weniger exakt ausgeführt ist. Das vollkommenste auf diesem Gebiet stellt das sogenannte Positionsfadenmikrometer dar. Es ist dies eine Kombination eines erstklassigen Fadenmikrometers mit einem fein geteilten Kreis, der die jeweilige Lage der Meßrichtung gegen die normale Gebrauchslage des Mikrometers meßbar zu erfassen gestattet. Sein Tätig-

Digitized by Google

keitsfeld ist hauptsächlich die Vermessung des Gesichtsfeldes eines größeren astronomischen Refraktors, weil es dort neben der Messung von einfachen Differenzen der astronomischen Hauptkoordinaten Rektaszension und Deklination, auch die besonders bei Doppelsternsystemen wichtigen Bestimmungsstücke, Positionswinkel, d. h. Winkel zwischen der Verbindungslinie der zu messenden Gestirne und der Richtung der täglichen Bewegung, und Distanz unmittelbar zu ermitteln zuläßt. Fig. 5 gibt ein Bild von einer älteren Ausführung eines solchen Positionsmikrometers der Askaniawerke A.-G. (Ausführung für den 12″-Refraktor der Urania-Sternwarte Berlin aus den achtziger

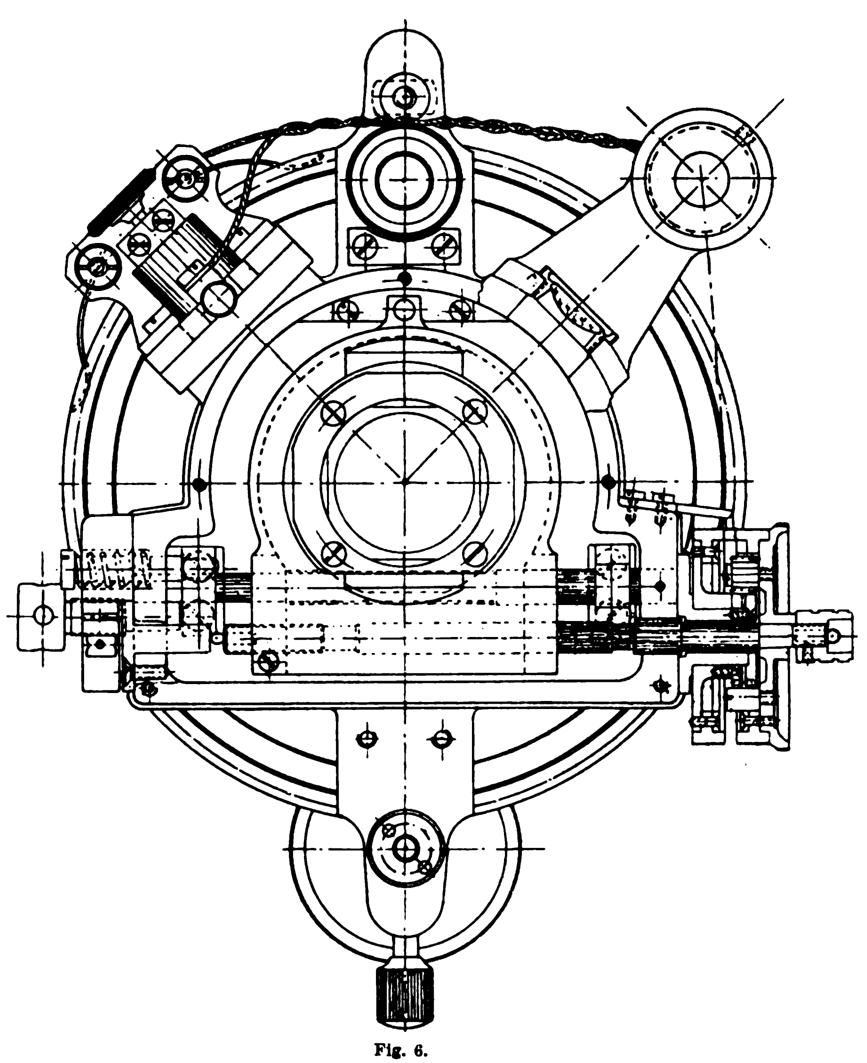


Fig. 6.

Jahren), während Fig. 6 die schematische Anordnung eines kleineren aber moderneren Instrumentes derselben Firma darstellt. Bei dem letztgenannten Mikrometer ist besonders auf eine gut ausgesonnene Verbindungsmöglichkeit des Kreises mit der eigentlichen Meßeinrichtung zu achten. Hier spielen Spannungen im Material, die etwa beim Klemmen vor der Beobachtung sich auslösen können, eine Rolle, die von vielen Konstrukteuren weit unterschätzt wird. In einer späteren Abhandlung soll auf diese Fehler und ihre Einflüsse besonders hingewiesen werden.

Bei allen bisher erwähnten Schraubenmikrometern, wie sie in der astronomischen

Digitized by Google

Meßkunst an Meridiankreisen, Durchgangsinstrumenten, kleinen Passageinstrumenten, Universalen und großen Refraktoren Verwendung finden, liegt der Hauptwert in der äußerst präzisen Beschaffenheit der Meßschrauben selbst. Die Schraube, die fast über ihre ganze Länge beansprucht wird, muß in ihrer Mutter vor dem Einsetzen einer eingehenden Prüfung unterzogen werden, die sich nicht nur auf die bekannten fortschreitenden und periodischen Fehler erstreckt, und deren Gesamteinfluß auf den Bewegungseffekt untersucht, sondern die auch den Grad des Schliffs und der Politur

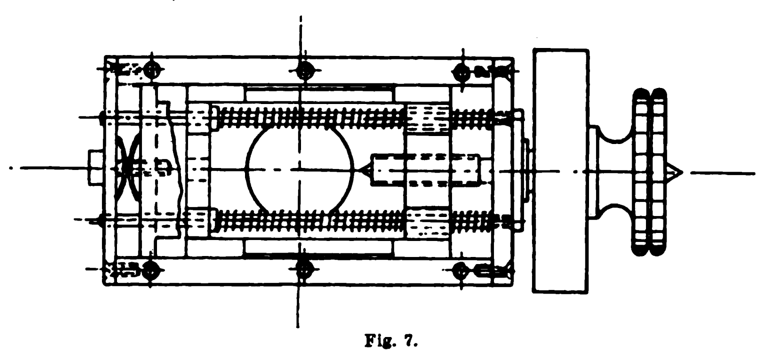


Fig. 7.

berücksichtigt; denn es kommt ja dem Benutzer letzten Endes nicht darauf an, daß er eine fehlerfreie Schraube geliefert bekommt, sondern er verlangt eine vollständige Unveränderlichkeit derselben. Für die Prüfung derselben ist daher im Laboratorium der Askania-Werke A.-G. ein Verfahren ausgearbeitet worden, welches den Gesamteffekt und den Gesamtzustand einer größeren Meßschraube vorzüglich zu beurteilen gestattet. Das Verfahren wird weiter unten beschrieben werden.

Eine lange nicht so hohe Präzision wird von den kleinen Mikrometern verlangt, die zur Messung der Veränderungen von einzelnen Teilen einer Apparatur zueinander verwendet werden. Wir meinen hier hauptsächlich die Mikrometer zur Ablesung der feingeteilten Kreise der verschiedenen Instrumente. Hier wird ja mehr oder weniger nur ein ganz beschränkter Teil der Meßschraube immer wieder für kleinste Verän-

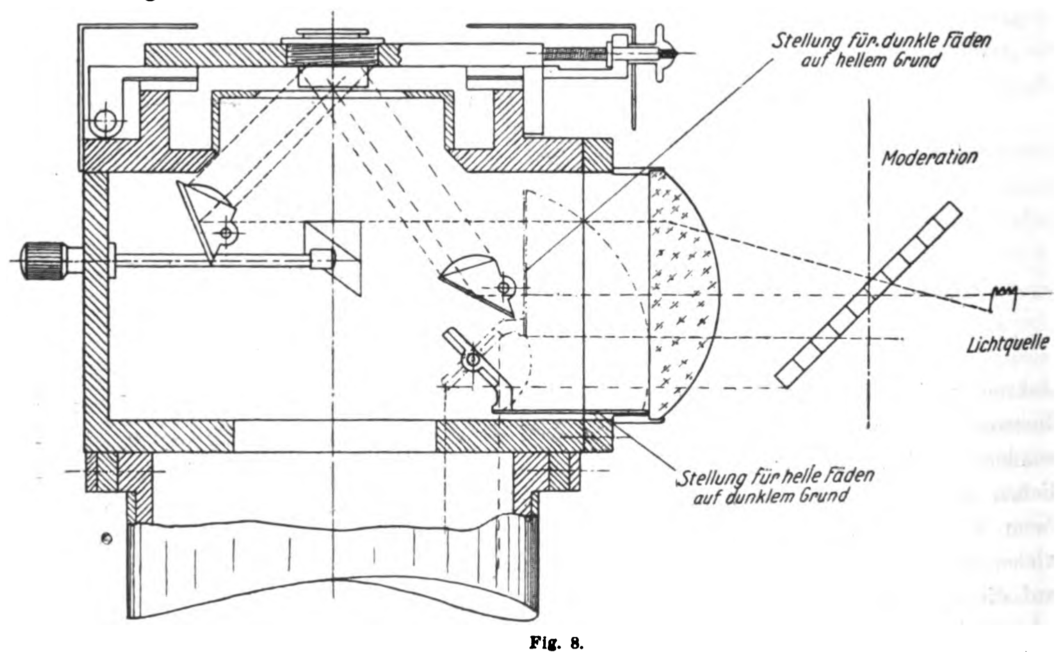


Fig. 8.

Digitized by Google

derungen innerhalb einer Ganghöhe verwendet. Die dazu nötige Genauigkeit einer einzelnen Stelle zu erreichen, ist gegenüber den Anforderungen der vorgenannten Instrumente geradezu als einfach anzusprechen. Auch das Mikrometerwerk ist daher bedeutend einfacher gestaltet, wie aus der Skizze Fig. 7 zu ersehen ist.

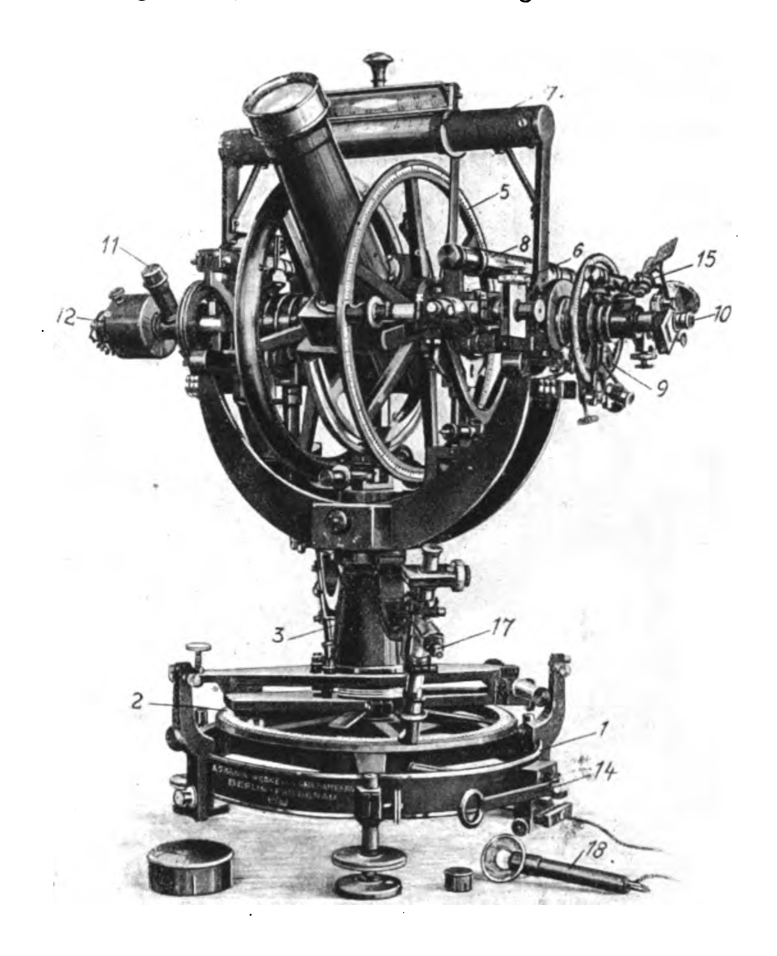


Fig. 9.

1 Dreifuß mit Verstärkungsring und Azimutanschlägen.
2 Horizontalkreis.
3 Vertikalachse mit Buchse.
5 Vertikalkreis.
6 Ablesemikroskope.
7 Aufsatzlibelle mit Ablesespiegel.
8 Mikroskoprahmen mit Libelle.
9 Aufsuchekreis mit Libellenalhidade.
10 Drehbares Okularmikrometer,
11 Sucherfernrohr.
12 Elektrische Feldbeleuchtung.
14 Umlegung und Entlastung.
15, 17 Beleuchtung.
18 Handlampe.

Ehe wir zu den neuzeitlich umgestalteten Meßeinrichtungen übergehen, die eine unpersönliche Registrierung der Beobachtungsdaten gestatten sollen, und deren Verbesserungen in der letzten Zeit, müssen wir aber noch bei zwei scheinbar nebensächlichen Einzelteilen einen Augenblick verweilen: den Fadennetzen und vor allem bei den elektrischen Beleuchtungseinrichtungen. Das Interesse für die ersteren ist eigentlich nur ein indirektes, insofern als nicht die Art wie und nach welchem Schema die Fäden aufgezogen sind, wichtig ist, denn diese hängt ja zu sehr von dem einzelnen Verwendungszweck ab, sondern die Auswahl der Fäden selbst in bezug auf ihre Stärke ist das Ausschlaggebende dabei. Im wesentlichen hat uns die von Kühl,

Digitized by Google

München, entwickelte Kontrasttheorie erst die nötigen Unterlagen für die Zusammenhänge der Fadenstärke und der zur Anwendung gelangenden Okularvergrößerungen gegeben. Die Beschränkung in der Auswahl des vorhandenen Spinnwebmaterials läßt uns leider nicht immer das der Theorie zu entnehmende Optimum erreichen. Ganz anders und in viel ausgiebigerem Maße läßt sich die Beobachtungssicherheit durch zweckmäßige Gestaltung der Beleuchtungseinrichtungen erhöhen, um so mehr da uns bei dem elektrischen Strom die leichte und auf einen winzigen Raum beschränkte Zuführungsmöglichkeit zu Hilfe kommt. Die Beleuchtungseinrichtungen sind schon des-

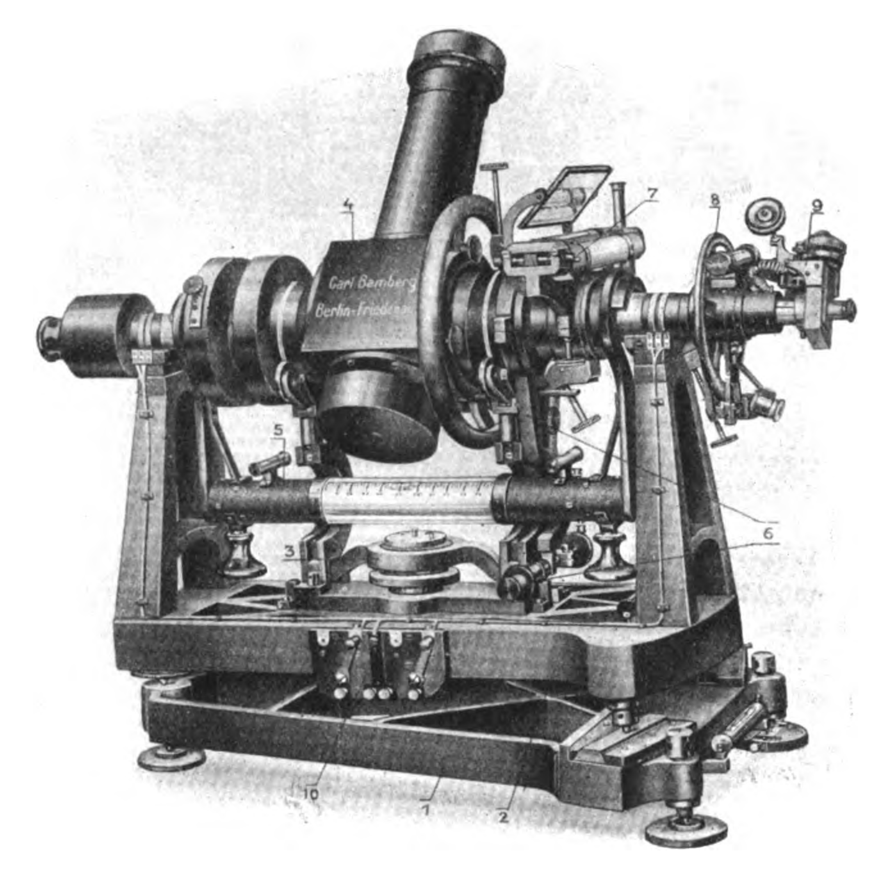


Fig. 10.

1 Döllenscher Untersatz mit Azimutverstellung.
2 Unterbau.
3 Umlegevorrichtung mit Wagebalkenentlastung.
4 Achskubus.
5 Hängelibelle.
6 Klemme mit Feinstellung.
7 Horrebow-Talcott-Niveau mit Ablesespiegel.
8 Aufsuchekreis mit Libellenalhidade.
9 Registriermikrometer.
10 Schaltbrett.

halb untrennbar mit dem Mikrometer, speziell mit dem Fadenmikrometer, verbunden, weil die winzig dünnen Spinngewebefäden auf dem dunklen Himmelshintergrunde sonst gar nicht zu sehen wären. Entsprechend den beiden Möglichkeiten der Fadensichtbarmachung, nämlich der negativen und der positiven, gibt es verschiedene Beleuchtungsanordnungen. Bei der ersteren Art wird das Licht einer irgendwo in das Beobachtungsinstrument eingebauten Lichtquelle durch Reflexion vom Objektiv her von hinten auf die Fäden geworfen, so daß sie als dunkle Striche auf einem hell erleuchtetem Feld erscheinen — Feldbeleuchtung; bei der zweiten ist die Einrichtung so getroffen, daß das Licht nicht anders als durch

Digitized by Google

Reflexion, Brechung oder Beugung an den Fäden in das Auge gelangen kann — Fädenbeleuchtung, mit hellen Linien auf dunklem Grunde. Bei den modernen Instrumenten ist es durch sinnreiche Konstruktionen ermöglicht worden, daß der Beobachter beide Arten der Beleuchtung durch eine einfache Spiegeldrehung nacheinander bewirken und sich nutzbar machen kann. Eine Einrichtung dieser Art finden wir in Fig. 8 schematisch angedeutet, die ein Mikrometer mit derartiger kombinierter Beleuchtung darstellt. In der Abbildung ist gleichzeitig dafür gesorgt, daß bei der positiven Fädenbeleuchtung das Licht nicht einseitig auf die Fäden fällt, da sonst die Lage der Lichtlinie zu sehr abhängig ist von der Stellung der Beleuchtungsquelle, und eine leichte Verschiebung derselben eine scheinbare Verlegung der Pointierungslinie zur Folge hat. In der Praxis geht man nun noch viel weiter und sucht von einer zentralen Stelle aus das ganze Instrumentarium mit Licht zu versorgen.

Der Vorteil der zentralen Beleuchtungsanordnungen wird in seiner vollen Größe erst bei den unpersönlich registrierenden Mikrometern zutage treten; hier sei daher nur etwas abschweifend auf den Vorteil in der Beobachtungsbequemlichkeit hingewiesen, wie er beim Betrachten den in Fig. 9 und 10 dargestellten mit elektrischer Gesamtbeleuchtung aller Mikrometer versehenen Universal- und Passageinstrumente klar zutage tritt.

(Fortsetzung folgt.)

Zur Theorie der Polarisationsprismen VIII.[1]) Prismen aus Spat und Glas.

Von
Dr. **Hans Schulz.**

(Mitteilung aus der Optischen Anstalt C. P. Goerz A.-G., Berlin-Friedenau.)

In seinem „Handbuch der praktischen Optik" (Berlin 1913) gibt B. Halle auf S. 107 an, daß die Versuche, Polarisationsprismen aus Spat und Glas herzustellen, keinen vollen Ersatz für Nicol-Prismen gebracht haben, weil zwar bei gekreuzter Stellung völlige Auslöschung erreicht werden konnte, bei paralleler Stellung die Bilder aber stets farbig erschienen und daß auch die von Lommel und Leiss vorgeschlagenen Konstruktionen keinen wesentlichen Fortschritt darstellen. Dies liegt im wesentlichen daran, daß die früher bekannten Gläser nicht die für die Lösung der Aufgabe notwendige Dispersion aufweisen.

Die immer schwieriger werdende Beschaffung optisch brauchbaren Spates rechtfertigt aber neue Versuche in dieser Richtung. Soll freilich eine Winkelablenkung des Strahles vermieden werden und außerdem der brechende Winkel von Spat- und Glasprisma gleich sein, so können natürlich nur Gläser in Betracht kommen, deren Brechungsindex entweder dem ordentlichen (ω) oder dem außerordentlichen (ε) Brechungsexponenten des Kristalles gleich ist und bei denen auch die Dispersion entsprechende Werte hat. Dies würde also erfordern bei

$N = 1{,}4864 \qquad \nu = 79{,}7$

$N = 1{,}6584 \qquad \nu = 49{,}1.$

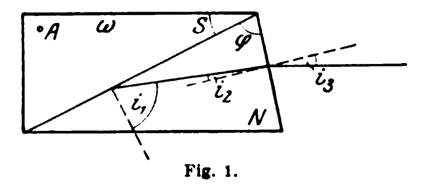


Fig. 1.

Läßt man hingegen diese Beschränkung fallen, so ergeben sich weitere Möglichkeiten, die im folgenden erörtert werden sollen. Es sei (Fig. 1) ein Querschnitt eines solchen aus Spat und Glas zusammengesetzten

---

[1]) Siehe *diese Zeitschrift* ***41.*** *S. 144. 1921.*

Digitized by Google

Prismas; das Licht soll von links einfallen. A bezeichnet die zur Zeichnungsebene senkrecht angenommene Kristallachse, so daß das Prisma in der Schnittweise von Glan-Thompson gedacht ist. Ist N der Brechungsindex des Glases, so ist zunächst zu unterscheiden zwischen den Fällen

$$\omega > N > \varepsilon \quad \text{und} \quad N > \omega.$$

Ist $\omega > N > \varepsilon$, so sind die Grenzwinkel

für ordentlichen Strahl	für außerordentlichen Strahl
$i_1 = 90^0$	$\sin i_1' = \frac{\varepsilon}{N}$
$i_2 = \varphi - 90^0$	$i_1' + i_2' = \varphi$
$\sin i_3 = N \cdot \sin i_2$	$\sin i_3' = N \cdot \sin i_2'$.

1)

Aus 1) folgt nun für die Bedingung symmetrischen Gesichtsfeldes

$$i_3 + i_3' = 0 \tag{2}$$

und daraus

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{\frac{N+\varepsilon}{N-\varepsilon}}. \tag{3}$$

Der senkrecht auf die erste Fläche des Kalkspatprismas auftreffende Strahl soll ohne Winkelablenkung das Prisma verlassen, was nur möglich ist, wenn

$$\begin{aligned} N \sin i_1'' &= \omega \sin (90 - S) \\ i_2'' + i_1'' &= \varphi \\ \sin i_3'' &= N \sin i_2'' \\ 90 - S - i_1'' + i_3'' - i_2'' &= 0 \end{aligned} \tag{4}$$

ist. Hieraus ergibt sich die weitere Bedingung

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos S (\omega - 1)}{\sqrt{N^2 - \omega^2 \cos^2 S} - \sin S}, \tag{5}$$

aus der sich für gegebenes N der Schnittwinkel des Kalkspatprismas S in der Form berechnet

$$\operatorname{tg} S = \frac{(\omega - 1)\sqrt{N - \varepsilon} \pm \sqrt{(\omega - 1)^2 (N - \varepsilon) N^2 + (N^2 - 1)(\omega^2 - N^2)(N + \varepsilon)}}{(N^2 - 1)\sqrt{N + \varepsilon}}. \tag{6}$$

Die Differentiation der Gleichungen 4) nach ω und N führt dann endlich zu der Achromasiebedingung

$$d N = \frac{d\omega}{N(\omega - 1)} \left\{ N^2 - \omega \cos^2 S - \sin S \sqrt{N^2 - \omega^2 \cos^2 S} \right\} \tag{7}$$

die bei Einführung der relativen Dispersionen übergeht in

$$\nu_N = \nu_\omega \cdot \frac{N \cdot (N - 1)}{N^2 - \omega \cdot \cos^2 S - \sin S \sqrt{N^2 - \omega^2 \cos^2 S}}. \tag{8}$$

Die Größe des Gesichtsfeldes J enthält dabei den Wert

$$\sin J/2 = \sqrt{\frac{N(N - \varepsilon)}{2}}. \tag{9}$$

Für den Grenzfall $N = \omega$ wird

$$\operatorname{tg} S = \sqrt{\frac{\omega - \varepsilon}{\omega + \varepsilon}} = \operatorname{tg} \varphi, \tag{6a}$$

Digitized by Google

$$d N = d \omega \tag{7a}$$

$$\nu_N = \nu_\omega \tag{8a}$$

$$\sin J/2 = \sqrt{\frac{\omega(\omega-\varepsilon)}{2}} \tag{9a}$$

Für $N = \varepsilon$ wird $J = 0$ und damit die Lösung selbst praktisch unbrauchbar.

Entsprechend folgt für $N > \omega$

$$\begin{aligned} \sin i_1 &= \frac{\omega}{N} & \sin i_1' &= \frac{\varepsilon}{N} \\ i_1 + i_2 &= \varphi & i_1' + i_2' &= \varphi \\ \sin i_3 &= N \cdot \sin i_2 & \sin i_3' &= N \cdot \sin i_2' \end{aligned} \tag{1b}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega + \varepsilon}{\sqrt{N^2 - \omega^2} + \sqrt{N^2 - \varepsilon^2}} \tag{3b}$$

$$\operatorname{tg} S = \frac{(\omega - 1) \pm \sqrt{(\omega-1)^2 N^2 + (\omega^2 - N^2)(N^2 - 1) \operatorname{tg}^2 \varphi}}{(N^2 - 1) \operatorname{tg} \varphi}. \tag{6b}$$

Die Gültigkeit der Gleichungen 7) und 8) bleibt bestehen.

Bei den obigen Ableitungen ist angenommen, daß die Kittschicht die Lage der Grenzwinkel nicht verändert. Da nun die Brechungsexponenten der praktisch verwendbaren Kitte zwischen denen von ordentlichem und außerordentlichem Strahl liegen, so sind nur die Möglichkeiten

$\alpha)$ $\omega > n > N > \varepsilon$

$\beta)$ $\omega > N > n > \varepsilon$

$\gamma)$ $N > \omega > n$

zu berücksichtigen. Ist α) erfüllt, so ist kein Einfluß der Kittschicht vorhanden; bei Gültigkeit von β) ist zu setzen

$$\sin i_1 = \frac{n}{N}$$

und daher

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\varepsilon + n}{\sqrt{N^2 - n^2} + \sqrt{N^2 - \varepsilon^2}}. \tag{3c}$$

Fall γ) ergibt rechnerisch die gleichen Werte wie β). Bei zahlenmäßiger Auswertung erhält man nach den Formeln 3), 6), 8) und 9)

$N =$	1,4864	1,5	1,55	1,60	1,65	1,658
$\varphi =$	90°	86,14	81,77	79,14	77,14	76,84
$S =$	33,77	33,84	29,98	24,39	15,61	13,16
$\nu =$	47,08	47,54	48,30	48,81	49,12	49,13
$J =$	0	11,59	25,65	35,09	43,11	44,38.

Die Anwendung höherer Brechungsindices ist nicht unbegrenzt möglich, da reelle Werte von S nur so lange auftreten, als

$$(\omega^2 - 1) N^2 - (N^2 - \omega^2)(N^2 - 1) \operatorname{tg}^2 \varphi > 0$$

ist, was auf die Gleichung führt

$$\operatorname{tg} \varphi \leqq \frac{(\omega - 1) N}{\sqrt{(N^2 - \omega^2)(N^2 - 1)}}.$$

Durch Einsetzen des Wertes φ aus 3b) erhält man endlich

$$f(N) = \frac{(\omega - 1) N}{\omega + \varepsilon} \cdot \frac{1 + \sqrt{\frac{N^2 - \varepsilon^2}{N^2 - \omega^2}}}{\sqrt{N^2 - 1}} \geqq 1.$$

Digitized by Google

Als Grenzwert ergibt sich bei Annahme von Kalkspat und Natriumlicht $N = 1,68133$. Für die zwischen $N = 1,6584$ und $N = 1,6813$ liegenden Werte folgt entsprechend gemäß Formel 1[b]), 3[b]), 6[b]) und 8) (vgl. Fig. 2).

$N =$	1,66	1,67	1,68
$\varphi =$	75,52	73,06	71,51
$S =$	13,92	12,85	9,15
$\nu =$	49,10	49,07	48,94
$J =$	40,25	34,34	31,37.

Die angegebenen Formeln gelten nur, solange das Licht auf den Kalkspatkeil auffällt. Bei entgegengesetzter Strahlenrichtung, also im Falle der Verwendung als Polarisator, folgt zunächst für den Keilwinkel des Kalkspatprismas (vgl. Fig. 3).

$$\operatorname{tg} S = \frac{\sqrt{\omega^2 - N'^2}}{N' - \varepsilon}, \tag{10}$$

wenn das Gesichtsfeld symmetrisch sein soll und in Verbindung mit der Gradsichtbedingung

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos S (\varepsilon - 1)}{\sqrt{N'^2 - \varepsilon^2 \cos^2 S} - \sin S}, \tag{11}$$

während für die Achromasie erforderlich ist

$$d N' = \frac{d\varepsilon}{N'(\varepsilon - 1)} \left\{ N'^2 - \varepsilon \cos^2 S - \sin S \left(\sqrt{N'^2 - \varepsilon^2 \cos^2 S}\right. \right\}. \tag{12}$$

Die Prismen bieten gegenüber den Feussnerschen den Vorteil, daß die Glasteile außerhalb des polarisierten Strahlenganges liegen, andererseits muß aber, da weder Gläser von der optischen Lage 486/797, noch solche in der Lage 658/491 zu beschaffen sind, mit einer geringen prismatischen Verzeichnung gerechnet werden, die aber bei rein photometrischen Arbeiten nicht stark ins Gewicht fällt. Ebenso ist eine kleine Parallelverschiebung des Strahlenbündels zu berücksichtigen, die jedoch bei geringem Unterschied der Werte N und ω bzw. N' und ε leicht durch Einschalten einer schräggestellten Planparallelplatte aufgehoben werden kann.

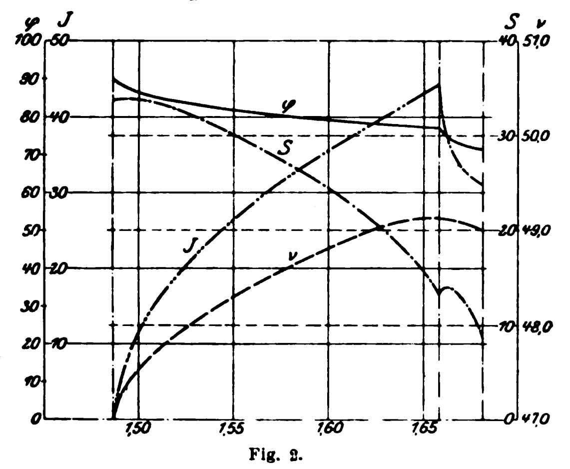


Fig. 2.

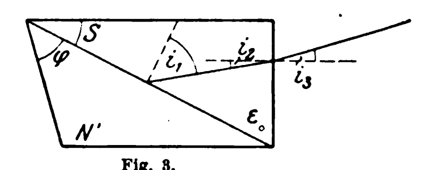


Fig. 3.

Durch Zusammensetzung zweier Prismen dieser Form gelangt man zum Abbeschen Analysator, bei dem der zwischen zwei Glasprismen befindliche Kalkspatkeil einen brechenden Winkel von 60° hat. Die Glasprismen und der Kitt sollen nach Angabe von Grosse einen Brechungsindex haben, der dem außerordentlichen des Kalkspats gleich ist. Da aber die Dispersion $= 79,1$ bei Glas nicht erreichbar ist, so muß der austretende Strahl gefärbt erscheinen. Nach den allgemeinen Formeln für die Berechnung achromatischer Prismen gelangt man aber leicht zu einem brauchbaren Analysator, wenn man beispielsweise bei einem brechenden Winkel des Kalk-

Digitized by Google

spatprismas von 60° zwei Keile aus Barint 604/494 mit einem Winkel von 33°′ — 47″ ankittet. Die noch verbleibende Dispersion des ordentlichen Strahles ist dann im Gebiet C — F nur etwa 10″, also für die meisten Fälle vollkommen zu vernachlässigen. Die Winkelablenkung eines parallel zur Basisfläche des Kalkspatprismas auffallenden Strahles beträgt dabei 11° 26′ 37″, so daß ein Gesichtsfeld von etwa 6° vollständig polarisiert erhalten werden kann. Eine größere Divergenz ist zu erreichen, wenn der brechende Winkel des Kalkspatkeiles größer gewählt wird. Es muß aber beachtet werden, daß bei dem Abbeschen Prisma die Grenzen der Totalreflexion weit außerhalb des normal nutzbaren Gesichtsfeldes liegen und daß somit eine Verwendung als Analysator an die Bedingung des Vorhandenseins einer entsprechend kleinen Blende geknüpft ist, daß also die Trennung der Strahlen nicht wie bei den anfangs behandelten Polarisationsprismen innerhalb des Prismas durch Totalreflexion, sondern außerhalb des Prismas durch Verkleinerung des Öffnungswinkels erreicht wird.

Höhendurchgangsinstrumente.

Von
K. F. Bottlinger in Neubabelsberg.

Das Prismenastrolab von Claude und Driencourt. — Das Altotransit von Trümpler. — Das photographische Höhendurchgangsinstrument von R. Baillaud.

Bisher wurden für astronomische Positionsbestimmungen, abgesehen von den transportablen Theodoliten fast ausschließlich Meridianinstrumente benutzt und die Meridiandurchgänge beobachtet oder doch wenigstens Durchgänge durch einen Vertikalkreis.

Trotzdem existieren seit geraumer Zeit einige Instrumente zur Beobachtung von Sterndurchgängen durch einen Höhenkreis, gewöhnlich durch den Höhenkreis von 60°. Das bekannteste ist das Prismenastrolab von Claude und Driencourt[1]). Zwei andere Instrumente, die noch beschrieben werden sollen, sind nur Abarten und Verbesserungen dieses Instrumentes.

Das Prismenastrolab gestattet die Beobachtung der Sterndurchgänge durch den Höhenkreis von 60°, d. h. die Zenitdistanz 30°. Der wesentliche Teil des Instrumentes ist ein gleichseitiges Glasprisma. Das Prisma P (Fig. 1) liegt mit horizontaler brechender Kante und eine Fläche steht vertikal und ist dem horizontal liegenden Fernrohr F zugekehrt. Ein aus der Zenitdistanz 30° einfallender Lichtstrahl erleidet an der oberen Vorderfläche des Prismas keine Brechung, wird aber an der Innenfläche total reflektietr und die Hälfte des Strahlenbündels tritt horizontal aus und in das Fernrohr ein. Durch einen entsprechend aufgestellten Quecksilberhorizont H wird das Licht desselben Sterns reflektiert und gelangt mit 30° Nadirdistanz senkrecht auf die untere Vorderfläche des Prismas und gelangt ebenso

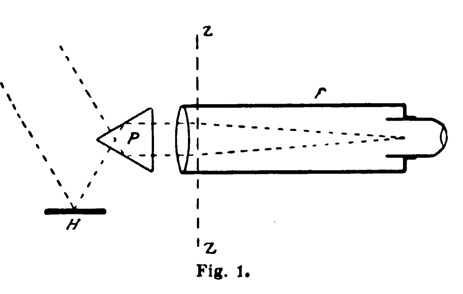


Fig. 1.

---

[1]) A. Claude und L. Driencourt, *Description et usage de l'Astrolabe à prisme.* Paris, 1909 und *Revue d'Optique,* **2.** *S. 248. Astrolabe à prisme. Nouveau modèle.*

Digitized by Google

wie der direkte Strahl in horizontaler Lage ins Fernrohr. Bei dieser Zenitdistanz von 30° koinzidieren das direkte und das reflektierte Sternbild im Fernrohr.

Man beobachtet den Moment der Koinzidenz der beiden Bilder und somit die Durchgangszeit durch den Höhenkreis $z = 30°$. Das ganze Instrument ist um eine vertikale Achse drehbar, die durch die gestrichelte Linie $Z\,Z$ angedeutet ist. Der Quecksilberhorizont hängt am Instrument. Ist das Prisma nicht genau gleichseitig, so wird die Beobachtungszenitdistanz ein wenig von 30° verschieden sein. Eine wesentlich von 30° verschiedene Zenitdistanz kann aber mit diesem Instrumente nicht beobachtet werden. Dieser brechende Winkel des Prismas ist die einzige Konstante, welche das Instrument besitzt. Schiefe der Drehungsachse (Neigung), Kollimation, und schiefe Lage der brechenden Kante des Prismas gehen nur mit Gliedern zweiter Ordnung in die Beobachtungen ein und können so bei einigermaßen sorgfältiger Aufstellung ganz vernachlässigt werden. Ein Meridianinstrument hat dagegen drei Aufstellungskonstanten, die Neigung, das Azimut und die Kollimation, die unter Umständen voll in die Beobachtung eingehen und dauernd unter schärfster Kontrolle gehalten werden müssen.

Hierin liegt ein großer Vorteil des Instruments, ein anderer soll in der Schlußbetrachtung besprochen werden.

Im allgemeinen sind folgende Größen unbekannt: α_i, δ_i, z, φ, u d. h. Rektaszension und Deklination eines jeden Sternes, die Beobachtungszenitdistanz, die Polhöhe (geographische Breite) des Beobachtungsortes und der Uhrstand. Je nachdem ob man Zeitbestimmungen, Breitenbestimmungen oder Positionsbestimmungen von Sternen machen will, wird man einen Teil dieser Größen als bekannt voraussetzen. Die Beobachtungsgrößen sind für jeden Stern U_o und U_w, die Durchgangszeiten durch den Beobachtungshöhenkreis vor und nach dem Meridian.

Die Grundformel, mit der man rechnet, ist die Gleichung

$$\cos z = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t,$$

worin t der Stundenwinkel und $t = U + u - \alpha$ ist.

Ferner ist $\alpha = \frac{U_o + U_w}{2} + u$ und $t = \frac{U_w - U_o}{2}$.

In der Praxis wird man natürlich stets Näherungswerte für die einzelnen Größen annehmen können und dann differenziell rechnen.

Das Instrument von Claude und Driencourt in der oben angedeuteten Form hat nun aber mehrere Nachteile, die seiner stärkeren Verbreitung wohl hauptsächlich im Wege gestanden haben.

1) Da nur die Koinzidenz des direkten und des reflektierten Sternbildes beobachtet, also von jedem Sterndurchgang nur ein Kontakt erhalten wurde, war die Beobachtung doch von recht geringer Genauigkeit. Man hätte schon die Beobachtungen häufen und außerordentlich viel Sterne beobachten müssen, was eine große Arbeitsvermehrung, besonders rechnerischer Art bedeutet hätte.

2) Zudem ist das Instrument von ziemlich kleinen Abmessungen und muß es sein, da man das lichtbrechende Prisma nicht beliebig vergrößern kann.

Beiden Mängeln kann abgeholfen werden. R. Trümpler[1]) hatte in der Brennebene ein Fadennetz angebracht, das zwar symmetrisch gebaut war, aber dessen Mitte etwas gegen den Koinzidenzpunkt des direkten und reflektierten Bildes ver-

[1]) *Göttinger Nachrichten 1913.*


Digitized by Google

schoben war. Auf diese Weise konnte man von jedem Bild jeden Fadenantritt beobachten und außerdem noch die Koinzidenz beider Bilder (Fig. 2). Bezeichnet man letzteren Zeitpunkt mit U_0, die Antritte an die einzelnen Fäden für das direkte und das reflektierte Bild mit U_i und U_i', so werden hintereinander folgende Kontakte beobachtet:

$$U_1 U'_5,\ U_2 U'_4,\ U_3 U_0 U'_3,\ U_4 U'_2,\ U_5 U'_1.$$

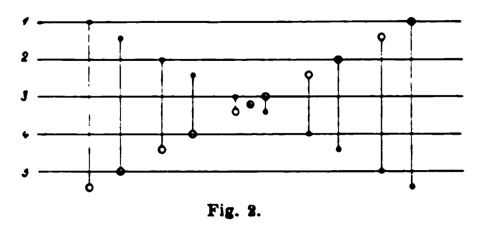


Fig. 2.

Statt des einen Kontaktes der Koinzidenz haben wir im ganzen 11 solcher Beobachtungswerte, die natürlich die Genauigkeit der Durchgangsbeobachtung ganz erheblich vergrößern.

Die zweite Änderung nahm Trümpler vor, indem er das Prisma durch zwei um 60° gegeneinander geneigte Spiegel ersetzte. Dies geschah hier einfach in der Weise, daß er die Prismenkante gegen das Objektiv richtete und die Außenseiten des Prismas versilberte; sie dienten dann als Spiegel. Diese Vorrichtung hat, wenn auch nicht bei diesem speziellen Versuch, so doch prinzipiell mehrere Vorteile. Erstens kann das Prisma beliebig groß konstruiert werden, ohne daß Nachteile durch innere Absorption entstehen wie vorher, so daß Fernrohre mit größerer Öffnung verwandt werden können und zweitens sind wir keineswegs an die Zenitdistanz 30° gebunden, sondern können jeden beliebigen anderen Höhenkreis zur Beobachtung auswählen (Fig. 3).

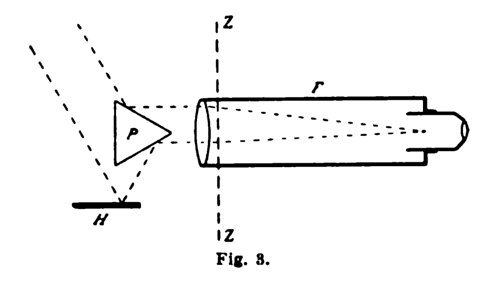


Fig. 3.

Die Instrumente dieser Art waren meist recht klein und die Brennweite überschritt nie 50 cm; infolgedessen war ihre Genauigkeit ziemlich gering. Sie eigneten sich wohl für Polhöhen- und Zeitbestimmungen, aber noch nicht für fundamentale Beobachtungen von Sternkoordinaten, wenn auch von Trümpler (a. a. O.) versuchsweise eine solche Beobachtungsreihe gemacht wurde.

Zwei für solche Messungen geeignete Instrumente sind aber in neuerer Zeit konstruiert worden. R. Trümpler legte der Versammlung der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft in Basel 1914[1]) (Fig. 4) ein solches photographisches Instrument vor. Das Fernrohr war ein Spiegelteleskop *F*, an Stelle des Okulars trat die photographische Platte *P*. Das Prisma war durch zwei gekreuzte Spiegel *SS'*, von denen der eine vor der rechten, der andere vor der linken Objektivhälfte stand, ersetzt worden. In der Mitte, zwischen beiden Spiegeln war ein zylindrisches Loch ausgespart, das den schmalen Lichtkegel auf die photographische Platte durchließ. Kurz vor der Platte war in den Strahlengang eine kleine planparallele Platte *g* eingeschaltet, die senkrecht stand und mit den Sekundenschlägen einer Pendeluhr um eine senk-

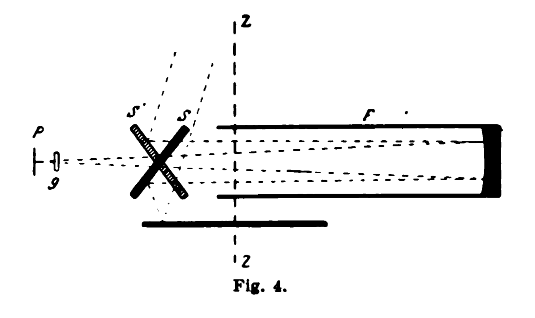


Fig. 4.

[1]) *Archives des sciences physiques et naturelles.* Genf *1914*, *S. 12.*

Digitized by Google

rechte Achse hin und her schwankte und so die schräg auf- oder abwärtslaufenden Sternspuren unterbrach, d. h. in horizontaler Richtung versetzte (Fig. 5). Auf diese Weise konnten die Durchgangszeiten verschiedener Sterne vermittels der Uhr miteinander verglichen werden. Natürlich muß man den Rhythmus der Uhr besonders bei kurzbrennweitigen Instrumenten und bei Beobachtungen in der Nähe des Meridians von ein bis zwei auf mindestens 5 Sekunden bringen. Ferner ist bei **Trümplers** Instrument eine Vorrichtung angebracht, um das Rohr während der Beobachtung in Azimut nachzuführen, so daß die Sternspuren steiler zueinander laufen und man durch eine kleine Verschiebung der photographischen Platte eine ganze Reihe von Sterndurchgängen auf eine Platte bekommen kann.

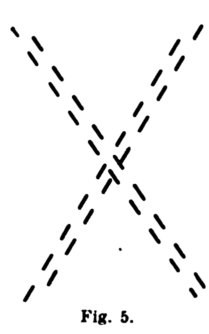


Fig. 5.

Das Instrument, dem **Trümpler** den Namen **Altotransit** gegeben, ergab nach orientierenden Messungen für einen Durchgang den mittleren Fehler von $\pm 0''.25$. Weitere Messungen wurden leider unterlassen, da der Konstrukteur bald nach Fertigstellung seines Instrumentes nach Amerika übersiedelte.

Ganz neuerdings ist von R. **Baillaud** ein entsprechendes größeres ebenfalls photographisches Instrument beschrieben worden[1]). Dadurch, daß es eine Öffnung von 18 cm und eine Brennweite von 180 cm hat, ist es bereits für Fundamentalmessungen geeigneter. Das Prisma ist ein solches mit äußerer Reflexion. Anstatt der Verschiebung der Sternspur durch die planparallele Platte bei **Trümpler** wurde hier eine zeitweise Auslöschung der Sternspur durch einen elektromagnetischen Verschluß *(Obturateur)* nach den Schlägen einer Pendeluhr vorgenommen. Verfasser ist zwar der Ansicht, daß die Lösung von **Trümpler** die glücklichere ist. Denn erstens ist hier nur eine kleine Masse zu bewegen (die planparallele Platte), wogegen das Trägheitsmoment von **Baillauds** *Obturateur* entschieden größer ist und zweitens ist die Versetzung einer Linie sicherlich besser im Meßapparat einzustellen, als das Ende oder der Beginn einer solchen, besonders wenn die Bewegung der planparallelen Platte sehr plötzlich geschieht, wie es bei **Trümpler** der Fall war.

Im übrigen dürfte das Instrument von **Baillaud** vor allem wegen seiner größeren Dimensionen für viele Programmarbeiten brauchbar sein.

Ein äußerlicher Unterschied zwischen dem Prismenastrolab und **Baillauds** Instrument einerseits, und **Trümplers** Altotransit andererseits besteht darin, daß bei den beiden ersteren der Quecksilberhorizont sich hängend außerhalb der Drehungsachse befindet, und bei der Drehung des Instruments im Azimut mitgenommen wird, während er beim Altotransit feststeht und das Instrument um eine durch seine Mitte gehende Achse gedreht wird. Ein weiterer Unterschied besteht darin, daß sich bei den ersteren die obere und untere Hälfte des Objektivs in das direkte und reflektierte Bild teilen, während bei letzterem die beiden seitlichen Hälften des Hohlspiegels den beiden gekreuzten Planspiegeln zugeordnet sind.

Es seien hier noch einige Worte über die Bedeutung der Höhendurchgangsinstrumente allgemein gesagt. Unser Fundamentalsystem der Fixsternkoordinaten ist noch mit erheblichen systematischen Fehlern behaftet, die mit den Meridianinstrumenten nur äußerst schwer zu beseitigen sind, weil hier die Sterne immer und auf allen Warten der Erde abgesehen von Zirkumpolarsternen in genau der gleichen Reihenfolge beobachtet werden müssen. Beim Höhendurchgangsinstrument ist die

[1]) *Revue d'Optique* **3**, *S. 71. Instrument photographique des hauteurs égales.*


Digitized by Google

Reihenfolge eine ganz andere als bei Meridianinstrumenten und ist noch für jede Beobachtungszenitdistanz und ebenso für den östlichen und westlichen Höhendurchgang verschieden und wenn man an mehreren Orten beobachtet, für jede geographische Breite verschieden. Periodische Schwankungen der Uhrgänge und auch periodische Schwankungen der atmosphärischen Refraktion sind auf diese Weise jedenfalls bei geschickter Anordnung der Beobachtungen, wenn auch nicht vollkommen eliminierbar, so doch erkennbar. Die von Courvoisier verfochtene sogen. jährliche Refraktion (die auch eine tägliche sein könnte), der von anderen Seiten lebhaft widersprochen wird, ohne daß durch diese Diskussion das Problem gelöst werden kann, könnte mit solchen Höhendurchgangsinstrumenten einer scharfen Kontrolle unterzogen werden. Auch die Beobachtung von Zimmer, daß Zeitbestimmungen in den Abend- und Morgenstunden verschiedene Resultate ergeben, kann mit dem Höhendurchgangsinstrument untersucht werden.

Möglicherweise ergeben auch sorgfältige Beobachtungen, daß die atmosphärische Refraktion nach verschiedenen Azimuten verschieden sein und von der Wetterlage abhängen kann (bis zu einem gewissen Grade ist das sogar sicher gestellt) und daß deswegen unser astronomisches Koordinatensystem einer völligen, unserer individuellen Beobachtungsgenauigkeit entsprechenden Bereinigung nur schwer zugänglich ist. Allein schon diese Feststellung wäre von größter Bedeutung. Sicher kann man aber erwarten, daß eine großzügige Beobachtung mit derartigen Instrumenten eine bedeutende Verbesserung unseres heutigen Fundamentalsystems und vielleicht auch eine beträchtliche Erweiterung unserer Kenntnisse bedeuten würde.

Referate.

Über ein neues Verfahren zur Registrierung kleiner Schwingungen.

Von Gustav Schmaltz, *Maschinenbau 3. S. 639. 1924.*

Der kleine Apparat ist grundsätzlich eine Umkehrung des bekannten Kapillar-Elektrometers. In seiner einfachsten Form besteht er also aus einem sanduhrförmigen Glasgefäß, das in seiner kapillaren Einschnürung ein wenig bestleitende Schwefelsäure enthält, und zu beiden Seiten Quecksilber, in das die eingeschmolzenen Leitungsdrähte einmünden. Der Rest des Innenraumes enthält Luft, die die notwendige Direktionskraft gibt. In einer zweiten Form sind die beiden Lufträume durch ein Glasrohr verbunden und die Teile, die das Quecksilber enthalten, durch geeignete Gestalt so ausgebildet, daß man sichere Ruhelagen erhält. Bewegen sich die beiden Menisken in der Kapillare, so entsteht eine elektromotorische Kraft, die an einem Saitengalvanometer registriert wird.

Es ist klar, daß ein solcher Apparat nur auf Erschütterungen in Richtung seiner Achse anspricht, so daß man, da man ihn auch senkrecht stellen kann, diese leicht in ihre Komponenten zerlegen kann. Von sonstigen Bewegungen ist er unabhängig; es ist z. B. gelungen, die Querschwingungen einer Pleuelstange zu messen.

Die praktische Erprobung des ganz leichten Apparates, der auch die Möglichkeit gibt, infolge der elektrischen Registriermethode in beliebiger Entfernung von der zu untersuchenden Stelle die eigentliche Aufnahme zu machen, an einer schwingenden Eisenstange, die gleichzeitig mikroskopisch beobachtet und registriert wurde, zeitigt das Ergebnis, daß man leicht eine 3000fache Vergrößerung erhält. Das Gerät gibt wohl die Frequenzen richtig wieder, nicht aber die Amplituden. Diese sind proportional einer Potenz der Frequenz, und zwar, wohl an dem zufällig vorliegenden Apparat ermittelt, der 2,6. Potenz der Frequenz. Dieser Nachteil bietet aber wiederum den Vorteil einer merklichen Vergrößerung der Oberschwingungen, die sonst bei der mikroskopischen Registrierung nicht sichtbar sind. Der Apparat bedarf daher einer besonderen aus-

Digitized by Google

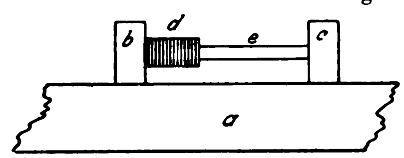
führlichen Eichung, die seine Anwendung als Meßgerät etwas schwierig gestaltet, während er als Indikator für Erschütterungen recht gut und einfach verwendbar sein dürfte. Angaben über das Frequenzbereich, in dem er brauchbar ist, und über seine Dämpfung, sind nicht gemacht.

Block.

A new electrical telemeter.

Von Burton Mc. Collum *und* O. S. Peters. *Technolog. pap. of the Bur. of Stand. Nr. 247. 17. S. 737. 1924.*

Das Prinzip des Apparates veranschaulicht nebenstehende Abbildung. Mit *a* ist der zu untersuchende Körper, mit *b* bis *e* die Meßvorrichtung angedeutet. Diese wird vermittels der Teile *b* und *c* mit *a* starr verbunden (z. B. aufgeschraubt). Zwischen *b* und *c* befindet sich *d*, der Hauptbestandteil des Apparats, eine aus Kohlescheiben zusammengesetzte Säule und der Stempel *e*. Alsdann machen sich kleine Längenänderungen von *a* zwischen den durch *b* und *c* bestimmten Querschnitten infolge von Zug- oder Druckkräften durch Änderung des elektrischen Widerstandes von *d* bemerkbar. Um die Anordnung für praktische Meßzwecke nutzbar zu machen, mußten die Verf. verschiedene Schwierigkeiten überwinden, an denen die bisher in derselben Richtung unternommenen Versuche gescheitert sind. So geht der Kohlewiderstand nach Aufhebung einer Längen- bzw. Spannungsänderung im allgemeinen nicht auf den ursprünglichen Wert zurück. Es zeigte sich aber, daß dies nur eine Folge des Vorhandenseins tangentialer Komponenten ist, die eine gegenseitige Verschiebung der Kohlescheiben in Richtung ihrer Oberfläche und dementsprechend eine Änderung der Berührungsstellen bewirken. Durch geeignete Anordnung in einem hinreichend starken, aus einem Stück hergestellten Gestell wird erreicht, daß nur axial gerichtete Kräfte zur Einwirkung gelangen und einem bestimmten Druck ein bestimmter Widerstand eindeutig entspricht, vorausgesetzt natürlich, daß es nicht zu einem Zerreiben der Kohleplatten kommt.



Da der Widerstand keine lineare Funktion der eintretenden Verschiebungen ist, werden gleichzeitig zwei Kohlesäulen benutzt, die der äußeren Einwirkung in entgegengesetztem Sinne unterliegen. Alsdann wird die eine stets in dem Maße entspannt, wie die andre zusammengepreßt wird, und man erhält, wenn sie in zwei benachbarte Zweige einer Wheatstoneschen Brücke gelegt werden, einen linearen Verlauf des Brückenstromes. Um den zeitlichen Verlauf von Kräften, insbesondre oszillatorischen Charakters zu verfolgen, wird das Amperemeter des Brückenzweiges durch einen Oszillographen ersetzt oder ein photographisches Verfahren angewandt. Auf diese Weise konnten periodische Prozesse einer Frequenz von über 800 pro Sekunde aufgenommen werden.

Der Apparat wird zum Messen kleiner Verschiebungen, als Dynamometer, Druckmesser und dergl. verwandt; er eignet sich außer für Prüfungen von Materialien und Konstuktionsteilen im Laboratorium, auch beispielsweise zu Messungen an Halteseilen von Luftfahrzeugen während des Fluges, von Brückengliedern während ihrer Beanspruchung durch passierende Eisenbahnzüge. Die Genauigkeit bewegt sich zwischen 5% im ungünstigsten Falle und ½% bei Anwendung äußerster Sorgfalt.

Ct.

The chain balance.

Von Sir Flinders Petrie. *Journ. of scientific Instr. 1. S. 29, 64. 160. 1923.*

Es wird auf die bereits sehr lange bekannte Abänderung der gewöhnlichen gleicharmigen Waage hingewiesen, die darin besteht, daß man bei häufigen Wägungen von Stücken etwa gleicher Masse nur einen ganz groben Massenausgleich durch Gewichtsstücke ausführt und die notwendige Zusatzbelastung der Waage durch eine geeignete Kette vornimmt. Am besten bewährt sich diese Anordnung so, daß man die Kette mit dem einen Ende an die eine Waagenschale befestigt und mit dem andern Ende an einem Schieber anhängt, der auf einer vertikalen Skala gleitet, die unmittelbar neben der Schale angebracht ist, so daß die Kette frei durchhängt. Die Skala kann dann sofort in Gewichtseinheiten hergestellt werden. Eine große Genauigkeit ist mit dieser Einrichtung natürlich nicht zu erzielen; wohl aber eine merkliche Beschleunigung der Wägung und eine recht gleichförmige Belastungsänderung der Waage.

Block.


Digitized by Google

A general purpose recording drum.

Von C. V. Boys. *Journ. scientific Instr.* ***1.*** *S. 26. 1923.*

Die zylindrische Registriertrommel mit horizontaler Achse wird in der Nähe der einen Stirnfläche von zwei Rollen getragen, in der Nähe der andern von einer Tangentenschraube mit horizontaler Achse, senkrecht zur Trommelachse. Die Trommel selbst hat keinen Zahnkranz, vielmehr drücken sich die Gänge der Tangentenschraube ein wenig in das Registrierpapier ein, was genügt, um bei Drehung dieser Schraube die Trommel mitzudrehen. Der Antrieb der Schnecke erfolgt durch einen Motor unter Zwischenschaltung von Planetengetrieben oder Differentialgetrieben, z. B. eines sogenannten Ferguson-Getriebes, womit die Möglichkeit gegeben ist, die Umlaufszahl der Trommel zwischen einem Umlauf in einer Minute und in einem Monat zu ändern.

Block.

Genauigkeit und Empfindlichkeit einer Druckwaage mit einem sogenannten Amagatzylinder.

Von A. Michels. *Ann. d. Phys.* ***73.*** *S. 577. 1924.*

Der Verf. will versuchen, die noch umstrittenen Fragen wegen der Meßgenauigkeit der bekannten Druckwaagen auf experimentellem Wege zu lösen. Zu diesem Zwecke wurde eine Cailletet-Röhre als Kontaktmanometer mit mehreren Kontakten ausgebildet und es wurden die Belastungen festgestellt, bei denen das Manometer gerade Kontakt gab. Dabei stellte sich heraus, daß diese Belastungen merklich von der zufälligen Höhenlage des Kolbens abhingen. Bei der benutzten Schaeffer & Budenbergschen Waage für 250 Atm. entsprach eine Kolbensenkung von 5 mm bei 180 Atm. einer Belastungsänderung von 12 g. Als Temperatureinfluß ergab sich nur der von der thermischen Ausdehnung des Metalls herrührende als wirksam. Reduziert man dann alle Einzelangaben auf gleiche Temperatur und Kolbenstellung, so gelangt man zu einer Einstellungsempfindlichkeit von über einem Hunderttausendstel. Eine Abhängigkeit vom Druck ist anscheinend nicht vorhanden. Sodann wurde die Frage des wirksamen Kolbendurchmessers geprüft. Die Waage wurde mit zwei Cailletet-Pumpen und jenem Manometer verbunden, in der Weise, daß die eine Pumpe den Hauptdruck lieferte, während die andere einen Zusatzdruck herstellte, dessen Höhe in Quecksilbersäule, bis nahe an 5 m heran, das Manometer zu messen gestattete, das durch Kathetometer bzw. Photographieren des Meniskus abgelesen wurde. Dabei stellte sich heraus, daß der wirksame Kolbendurchmesser innerhalb einer Fehlergrenze von 1:3000 keine Funktion des Druckes ist. Es ist das Mittel von Kolben- und Zylinderdurchmesser. Infolge Absinkens des Kolbens entsteht eine scheinbare Durchmesservergrößerung, unabhängig vom Druck, dargestellt durch $dF = \frac{v \cdot 0,7}{R \cdot r \cdot p}$. Außerdem sind folgende Korrektionen anzubringen: 1., für scheinbare Durchmesservergrößerung infolge der Ausdehnung des unteren Kolbenteils $\frac{3p}{2,2 \cdot 10^7}$, 2., eine scheinbare Durchmesserverminderung durch Zusammenpressen des Kolbens $\frac{7p}{2,2 \cdot 10^7}$, 3., eine scheinbare Durchmesservergrößerung durch Zunahme der Spaltoberfläche $\frac{p}{2,5 \cdot 10^6}$, insgesamt also $\frac{p}{4,6 \cdot 10^6}$.

Der Verf. glaubt, daß man es durch geeignete Wahl der Kolbenabmessungen noch über die jetzt schon erreichte Genauigkeit von 1:23000 bringen könnte. Erwähnt sei noch, daß er nach seinen experimentellen Erfahrungen und aus theoretischen Erwägungen den rotierenden Kolben für günstiger hält, als den hin und hergehenden Kolben, dem Holborn den Vorzug gibt.

Block.

Über die Bestimmung der Form der Lichtwellenflächen.

Von Y. Väisälä. *Annales Universitatis Fennicae Aboensis, Ser. A; Tom. 2; Nr. 1. Turku 1924.*

Anschließend an eine frühere Arbeit über „Neue Methoden zur Untersuchung der Objektive nebst Bemerkungen über die Beurteilung ihrer Güte", über die schon in *dieser Zeitschr.* ***43.*** *S. 198. 1923* referiert wurde, hat Väisälä jetzt wieder eine Abhandlung herausgebracht, in welcher er über weitere Methoden zur Bestimmung der Fehler von optischen Systemen berichtet. Diese Arbeit bildet insofern eine Erweiterung der früheren, als Verf. darlegt, wie man die von ihm schon an-

Digitized by Google

gegebenen Methoden bequem, schnell und genau auch im Laboratorium durchführen kann, ohne durch große räumliche Ausmaße behindert zu sein.

Er führt seine Messungen an einem parabolischen Spiegel aus, der zu diesem Zwecke in ein 4 m langes Holzgestell verschiebbar, aber doch fest eingesetzt ist. Als Lichtquelle dient eine 20kerzige Halbwattlampe mit geradem, spiralförmigem Glühfaden. Die Lampe ist seitlich angebracht und sendet ihre Lichtstrahlen durch ein Mikroskopobjektiv von 10 mm Brennweite, wodurch ein 40fach verkleinertes Bild des glühenden Fadens gerade in der optischen Achse des Spiegels entsteht. An dieser Stelle befindet sich die Hypotenusenfläche eines rechtwinkligen Prismas, dessen Kathetenflächen senkrecht zu den optischen Achsen des Spiegels und des Mikroskopobjektivs stehen. Die Lichtstrahlen werden im Prisma reflektiert und gelangen auf den Spiegel, so als ob sie von einem leuchtenden Punkt in der Achse des Spiegels herkämen. Von dem Spiegel aus wird durch Reflexion ein Bild auf die Einstellebene eines Okularmikrometers (Schraubenwert 0,3 mm; Brennweite des Okulars 8 mm) entworfen. Verf. mißt die Abweichungen der Wellenfläche von der Kugelfläche nach der „Methode der zwei Löcher", die er wegen der geringen Stabilität seines Spiegels zu einer Differenzbeobachtung in bezug auf ein zentrales Vergleichsbild umgestaltet. Und zwar bestimmt er die Fehler des Spiegels in 16 Punkten einer nahe dem Rande gelegenen Zone, indem er durch eine geeignete Blendenvorrichtung abwechselnd die Lage des von zwei Randlöchern erzeugten hellsten Interferenzbildes vergleicht mit derjenigen des hellsten Interferenzpunktes, den drei vom Zentrum und unter sich gleich weit entfernte Löcher erzeugen. Das Okularmikrometer ist dabei so fokussiert, daß alle Interferenzbilder möglichst genau an dieselbe Stelle kommen, so daß ein Fehler im Positionswinkel des beweglichen Fadens nicht in die Rechnung eingeht. Die Berechnung der Wellenflächenabweichungen h geschieht nach der schon in der früheren Arbeit abgeleiteten Formel:

$$\varDelta h = h_{n+1} - h_n = \frac{D\varrho}{z_2} \varDelta u,$$

wo $\varDelta h$ die in $\mu\mu$ ausgedrückte Differenz der Wellenflächenabweichungen der Randpunkte $n+1$ und n bedeutet, D den Abstand der Löcher n und $n+1$ in mm, z_2 die Entfernung des Fadenkreuzes von dem Spiegel ebenfalls in mm und ϱ den Wert des Tausendstels einer Mikrometerschraubenumdrehung in $\mu\mu$. Das $\varDelta u$ ergibt sich aus den Ablesungen u an der Trommel des Okularmikrometers in folgender Weise: das Interferenzbild der Punkte n und $n+1$ wird pointiert und an der Trommel der Wert u' abgelesen; dann wird das Interferenzbild der drei mittleren Punkte eingestellt, wobei sich u'' ergibt; dieselben Pointierungen, aber in umgekehrter Richtung, liefern u''' und u''''; dann ist $u_{n+1} - u_n$ der Mittelwert aus $u' - u''$ und $u'''' - u'''$. Aus obiger Formel lassen sich also sämtliche $\varDelta h$ berechnen. Indem nun $h_0 = 0$ gesetzt wird, erhält Verf. durch Bildung der Summenreihe die Abweichung h für jeden Punkt. Nach der Theorie des Verfahrens müßte sich $h_0 = h_{16}$ ergeben, weil der nullte Punkt mit dem 16. identisch ist. Aber infolge von Beobachtungsfehlern ist h_{16} meistens von Null verschieden. Dieser Schlußfehler wird dann noch gleichmäßig auf alle Punkte verteilt. Bei dieser Durchmessung des Hohlspiegels ist aber noch eine Reduktion anzubringen, die die erhaltenen Ergebnisse auf den Fall reduziert, daß die Beobachtungen in der Achse des Spiegels vorgenommen werden, denn nur dann lassen sich vergleichbare Werte erhalten. Bei brechenden Systemen lassen sich die Beobachtungen mühelos in der Achse anstellen; aber bei reflektierenden Systemen ist dies wegen des Prismas unmöglich, und die Beobachtungen müssen außerhalb der Achse erfolgen. Die Reduktionsformeln leitet der Verf. her auf analytisch-geometrischem Wege unter Berücksichtigung der Form des Hohlspiegels und des Winkels, den der Hauptstrahl mit der optischen Achse bildet. Diese Reduktion auf die Achse setzt sich eigentlich aus zwei Gliedern zusammen, die durch den Astigmatismus und die Koma im Bilde verursacht werden. Aber in dem behandelten Falle, wo nur die Fehler des Spiegels auf einem mit dem Zentrum des Spiegels konzentrischen Kreise bestimmt werden, überwiegt die Reduktion des Astigmatismus die der Koma. Doch weist der Verf. darauf hin, daß umgekehrt nur die Komareduktion in Frage kommt, wenn die Fehler des Spiegels auf einem Durchmesser ermittelt werden sollen. Außer der Achsenreduktion ist noch eine zweite anzubringen, die die zweckmäßigste Referenzkugel auswählt.


Digitized by Google

Im zweiten Teil seiner Arbeit gibt der Verf. verschiedene andere Versuchsanordnungen, die sich nicht nur auf Spiegel, sondern auch auf Objektive erstrecken. Besonders erwähnt sei die Methode, nach der Mikroskopobjektive untersucht werden sollen. Interessant ist es, wie einer Schwierigkeit aus dem Wege gegangen wird, die darin besteht, daß man in der Objektebene keinen für das Mikroskopobjektiv genügend kleinen Lichtpunkt erhalten kann: es werden drei gleich große Mikroskopobjektive in drei Kombinationen zu je zweien nach den bekannten Methoden untersucht; und zwar in der Weise, daß zwei Mikroskope einander so gegenübergestellt werden, daß ihre Objektebenen zusammenfallen. Die punktförmige Lichtquelle wird aus genügend weitem Abstand durch das Okular des einen Mikroskopes in dieses Mikroskop hineinprojiziert. Das in der gemeinsamen Objektebene entworfene Bild wird mit dem zweiten Mikroskop betrachtet. Die verschiebbare Blende ist innerhalb des einen Mikroskops möglichst nahe dem Objektiv angebracht, und die Untersuchung der Wellenflächen geht in gewöhnlicher Weise vor sich. Sind alle drei Kombinationen vermessen, so können die Lichtwellenflächen der einzelnen Objektive berechnet werden. Die Fehler der Okulare brauchen im allgemeinen nicht beachtet zu werden. Es wäre wünschenswert, daß diese vom Verf. vorgeschlagene Methode wirklich einmal experimentell ausgeführt werde.

Im dritten Teil seiner Abhandlung bringt Verf. die Ableitung der schon oben erwähnten Reduktionsformeln und schließt mit einer Beurteilung über die Güte des untersuchten Parabolspiegels. *Fl.*

Die tangentialen und sagittalen Bildflächen konstanter Vergrößerung für dünne Linsen.

Von T. Smith. *Transact. Opt. Soc.* **25.** *(2.) S. 89. 1923/24.*

Bei der Brechung des Lichts an einer einzigen brechenden Fläche ergibt sich die Lage des tangentialen und sagittalen Bildes aus den bekannten Gleichungen von Coddington:

$$\mu' V' \cos^2 \Phi' - \mu U' \cos^2 \Phi = K \quad \text{(tangential)},$$
$$\mu' V - \mu U = K \quad \text{(sagittal)},$$
$$K = R(\mu' \cos \Phi' - \mu \cos \Phi).$$

Hierin bedeuten: μ, μ' die Brechungsexponenten der Medien vor und nach der brechenden Fläche; Φ, Φ' Einfalls- und Brechungswinkel des Hauptstrahls; U', V' und U, V die Krümmungen der einfallenden und der gebrochenen Lichtwellenfläche am Brechungspunkt; R die Krümmung der brechenden Fläche am Brechungspunkt.

Wenn das Licht mehrere brechende Flächen durchdringt, die alle unendlich benachbart und in den Brechungspunkten zueinander parallel sind (aber nicht dieselbe Krümmung zu haben brauchen), so lassen sich obige Gleichungen für alle brechenden Flächen aufstellen. Die Bildfindung nach der Brechung durch sämtliche Flächen ergibt sich durch Addition der einzelnen Gleichungen und wird geliefert von einem resultierenden Gleichungssystem derselben Art wie oben, nur daß μ', Φ', V', V dem letzten Medium und μ, Φ, U', U dem ersten Medium angehören. Das resultierende K ist gleich der Summe der einzelnen K-Werte. Verf. führt nun folgenden Gedankengang: er trennt die einzelnen Gläser voneinander durch unendlich dünne Luftschichten ($\mu = 1$) und erhält dünne Linsen vom Brechungsexponenten μ_p, wo p der Index der Linse sei. Für die Vorder- und Hinterfläche einer jeden Linse lassen sich die Werte von K_p berechnen, und dann ist insgesamt:

$$K_p = R_p(\mu_p \cos \Phi_p - \cos \Psi),$$

wo R_p nunmehr als Gesamtkrümmung der betreffenden Linse aufzufassen ist und Ψ den Wert von Φ in Luft bedeutet. Das für das ganze Linsensystem resultierende K ist dann gegeben durch: $K = \Sigma K_p$, wo die Summation über alle Einzellinsen zu erstrecken ist. Da in den Endgleichungen nur diese Summe auftritt, so ist es für die Bildfindung ganz gleichgültig, in welcher Reihenfolge die einzelnen dünnen Glaslinsen aneinandergereiht sind. Insbesondere sind die Bildfeldkrümmung und der Astigmatismus eines dünnen achromatischen Systems von der Anordnung der Gläser unabhängig.

Verf. untersucht nun die tangentialen und sagittalen Bildflächen konstanter Vergrößerung m bei verschiedenen Winkeln Ψ und findet, daß alle tangentialen, ebenso alle sagittalen Bildflächen


Digitized by Google

ähnlich sind, daß ferner die Tangentialflächen aus den Sagittalflächen derselben Vergrößerung hergeleitet werden können, indem jeder Radiusvektor im Verhältnis $\cos^2 \Psi : 1$ gekürzt wird. Diese Tatsache gestattet es, einzig und allein die einfacheren Sagittalflächen konstanter Vergrößerung zu bestimmen; die verwickelteren tangentialen Flächen ergeben sich dann sehr leicht aus ersteren. Verf. benutzt diesen Kunstgriff zunächst im Fall einer einzelnen dünnen Linse von der Brennweite f und dem Brechungsexponenten μ. Er findet, daß alle sagittalen Flächen konstanter Vergrößerung m Kugelflächen sind, deren Radien von der Größe $f \cdot \frac{\mu}{\mu + 1}(1 - m)$ sind und deren Mittelpunkte den Abstand des axialen Bildpunktes von der Linse im Verhältnis $1 : \mu$ teilen. Die Krümmung der Bildfläche ist demnach vom $-(1 + \omega)$-fachen Betrage der Krümmung der aus der Linse austretenden Wellenfläche $\left(\omega = \frac{1}{\mu}\right)$.

Bedeutend schwieriger ist es im Fall eines Linsensystems. Die Bildflächen sind hier weniger einfach und wirklich gut bekannt nur in unmittelbarer Nähe der optischen Achse. Verf. stellt sich als Aufgabe, Lage und Gestalt der Bildflächen auch für größere Winkel Ψ möglichst genau zu ermitteln. Er stützt sich auf die Beobachtungen von Wilfred Taylor, der gefunden hat, daß die wirkliche Bildfläche nur wenig abweicht von einer Kugelfläche, deren Abmessungen genau so sind wie die oben gegebenen, nur daß jetzt dem μ bzw. ω ein anderer Wert zugeteilt werden muß, und zwar:

$$\omega = \frac{\Sigma \varkappa_p \omega_p}{\Sigma \varkappa_p},$$

wo $\varkappa = \frac{1}{f}$ ist. Diese Kugelfläche ist also bestimmt durch die Brechkraft und die Petzval-Summe des Linsensystems. Verf. betrachtet nun noch eine zweite Kugelfläche, in welcher gesetzt ist:

$$\mu = \frac{\Sigma R_p \mu_p}{\Sigma R_p}.$$

Durch analytische Berechnung zeigt er, daß die wirkliche sagittale Bildfläche innerhalb dieser beiden Kugelflächen liegt und von ihnen nur sehr wenig abweicht. Es ist dadurch ermöglicht, die wirkliche Bildfläche eng einzugrenzen durch einfach zu konstruierende Flächen. Im Sagittalen sind alle diese Flächen sogar sphärisch und dadurch besonders einfach, was für das Tangentiale nicht zutrifft. *Fl.*

Die optischen Teile des Victoria-Spektrographen.

Von J. S. Plaskett. *Astrophys. Journ.* ***59.*** *S. 65. 1924.*

Während die mechanische Einrichtung des Instruments bereits früher beschrieben wurde[1]), wendet sich der Verf. in der vorliegenden Veröffentlichung den optischen Bestandteilen zu.

Es sind 3 Prismen aus dem gewöhnlichen Jenaer Flintglas O 118 vorhanden mit brechenden Winkeln von je 63 Grad und einer Öffnung von 63,5 mm. Davon können ein oder zwei oder alle drei Prismen benutzt werden. Der Verf. gibt als Durchlässigkeit eines der Prismen die Zahl 0,756 an. Es ist anzunehmen, daß er damit die Durchlässigkeit für einen die Mitte des Prismas im Minimum der Ablenkung durchlaufenden Strahl von der Wellenlänge der Quecksilberlinie $H\gamma = 4360$ meint, denn für diese Wellenlänge sind die Prismen ins Minimum der Ablenkung gestellt. Dann müßte die Durchlässigkeit für zwei bzw. drei Prismen $0{,}756^2$ bzw. $0{,}756^3$, nämlich 0,571 und 0,432 sein. Der Verf. gibt aber dafür die Zahlen 0,603 bzw. 0,503 an. Die Ablenkung wird für diesen Strahl mit $54^\circ 40'$ für ein Prisma, $109^\circ 20'$ für zwei und $164^\circ 0'$ für drei Prismen angegeben. Das entspricht einem Brechungsverhältnis von 1,6376, was wohl stimmen dürfte.

Das Kollimatorobjektiv von 63,5 mm Öffnung und 1143 mm Brennweite war ebenso wie die beiden zunächst beschafften Kamera-Objektive von 76 mm Öffnung und 711 bzw. 965 mm Brennweite von den Hastings-Brashear Triplet-Typus, sämtlich sphärisch korrigiert für die Wellenlänge $\lambda = 4200$. Die Innenflächen dieser Triglets haben gleiche Krümmung und sind mit klarem Uhröl verkittet, so daß die Verluste durch innere Reflexion fortfallen.

[1]) *Astrophys. Journ.* ***49.*** *S. 209. 1919;* Referat in *dieser Zeitschr.* ***48.*** *S. 121. 1924.*

Digitized by Google

Der Verf. gibt dann sehr interessante Mitteilungen über die Krümmung der Bildfläche bei Benutzung von ein, zwei oder drei Prismen. Erwünscht ist jedenfalls, daß die Bildfläche eben sei, weil ja auch die photographische Platte eine Ebene darstellt. Allerdings gibt der Verf an, daß er dieser eine schwache Krümmung zu erteilen vermöchte durch Unterlegung dünner Kartonstreifen in die Kassette. Die Herbeiführung einer ebenen Bildfläche ist aber immer nur höchstens für Benutzung entweder von einem oder von zwei oder von drei Prismen möglich, nicht aber für alle drei Zusammenstellungen, wie folgende Betrachtung zeigt.

Nimmt man eine einfache Bikonvex-Linse als Ersatz der Gesamtwirkung des Kollimator- und des Kameraobjektives an, sowie ferner, daß die Brennweiten für Strahlen verschiedener Wellenlänge gleich seien (was bekanntlich nicht der Fall ist), so wird trotzdem die Bildfläche, auf welcher das scharfe Bild der einzelnen Teile des aus dem Prisma austretenden Strahlenfächers nicht in einer Ebene liegen, sondern auf einem Kreis, dessen Mittelpunkt im Hauptpunkt der Linse liegt und dessen Radius die Brennweite ist. Nun ist aber die Brennweite gar nicht die gleiche für Strahlen aller Wellenlängen. Sie ist länger für Strahlen größerer Wellenlänge und kürzer für solche von kleineren Wellenlängen, so daß die Bildfläche von der Form des Kreises abweicht. Wenn man nun einen bestimmten geringen Abstand des Bildes von der Ebene der photographischen Platte zuläßt, da bei diesen noch scharfe Bilder auf der Platte entstehen, so wird der sich scharf abbildende Teil des Strahlenfächers einen um so kleineren Teil des genannten Fächers umfassen, je größer die Dispersion ist, je mehr Prismen man anwendet.

Nun sind das Kollimator- und das Kamera-Objektiv keine einzelnen Linsen, sondern korrigierte Systeme. Es kommt auf das Zusammenwirken beider Systeme an, und man könnte sich vorstellen, daß die Gesamtkorrektion beider so bewirkt ist, daß sie für eine bestimmte Prismenzahl ein nahezu ebenes Bild ergibt, dann wird nach dem Ausgeführten solches für eine andere Prismenzahl nicht mehr der Fall sein. Man müßte also für verschiedene Dispersionen d. i. verschiedene Anzahl der zerstreuenden Prismen, mindestens verschiedene korrigierte Kameraobjektive anwenden, um in allen Fällen eine möglichst ebene Bildfläche zu erzielen.

Der Verf. gibt nun in Zeichnungen die Bildkrümmungen bei Anwendung der beiden Tripletobjektive und verschiedener Prismenzahl. Er schickt voraus, daß das Kollimatorobjektiv allein eine ziemlich beträchtliche Farbenabweichung besitze, nämlich eine Brennweite für die Wellenlänge $\lambda = 4800$ um 1 mm länger als für die Wellenlänge von $\lambda = 4200$. Dieser Umstand wirkt aber in wenn auch nur geringem Maße der konkaven Bildkrümmung entgegen, welche das Kameraobjektiv erzeugt.

Bei dem Triplet mit 711 mm Brennweite ist unter Anwendung von einem Prisma die Bildfläche zwischen λ 3000 und λ 6700 fast eben, sie ist gering konkav, die Scheitelhöhe der Kurve beträgt nur $\div$ 0,12 mm. Wendet man aber zwei oder drei Prismen an, so ist die Scheitelhöhe der Kurven zwischen λ 4100 und λ 4900 $\div$ 1,68 bzw. 2,45 mm, so daß wenn man auch eine mittlere Einstellung der photographischen Platte wählen würde, doch immer nur ein kleiner Teil des Spektrums scharf abgebildet wird.

Bei dem Tripletobjektiv mit 420 mm Brennweite ist der Charakter der Kurven ähnlich, aber der Fehler ist infolge der kürzeren Brennweite geringer. Hier ist die Bildfläche bei Anwendung eines Prismas schwach konvex, die Scheitelhöhe der Kurve ist hier + 0,12 mm und bei Benutzung von zwei oder drei Prismen in demselben Spektralbezirk wie oben nur — 0,96 bzw. — 1,82 mm.

Dieses Ergebnis leitete den Verf. zu dem Versuch, ein Objektiv von kürzerer Brennweite und größerem Öffnungsverhältnis zu benutzen, letzteres um die außerordentlich lange Expositionszeit bei Aufnahme der Spektren schwacher Sterne abzukürzen. Ein etwas geändertes Triplet von 76 mm Öffnung und 380 mm Brennweite erwies sich nicht als brauchbar. Man ging deshalb zu einem Triplet mit der Öffnung von 70 mm und einer Brennweite von 420 mm über. Hier mußte die Gleichheit der Radien einer der Innenflächen aufgegeben werden. Dieses Objektiv ergab dann bei Anwendung eines Prismas eine ebenso ebene Bildfläche wie das erste Triplet von 711 mm Brennweite. Wenn auch die verminderte Dispersion die Genauigkeit der Ausmessung entsprechend herabsetzte, so wurde doch die Beobachtungsmöglichkeit um eine Sterngröße vermehrt.

Um Spektren von Sternen, die schwächer als die achte Größe sind, zu erhalten, ist eine


Digitized by Google

noch kürzere Brennweite des Kameraobjektives bei gleichbleibender Öffnung erforderlich, also etwa ein Öffnungsverhältnis von $F/3$. Der Verf. wandte sich deshalb dem von Moffit konstruierten[1]) Objektiv vom Petzval-Typus zu. Das von ihm benutzte hatte bei 76 mm Öffnung eine Brennweite von 254 mm. Unter Anwendung eines Prismas war die Bildfläche stark konvex, die Scheitelhöhe beträgt 0,2 mm, eine Größe, die die Erlangnng guter Photographien unmöglich macht. Bei zwei oder drei Prismen war aber die Bildfläche fast eben (Abweichung nur $+0{,}05$ mm), bei drei Prismen zeigt der eine der brechbaren Seite des Spektrums angehörende Zweig der Kurve bereits eine Neigung konkav zu werden. Dieses Objektiv fand Anwendung zur Aufnahme von Nebelspektren. Bei derselben Reinheit des Spektrums konnte der Spalt zwei bzw. drei Mal so weit genommen werden, als bei Benutzung eines Prismas, wodurch die Expositionszeit bedeutend herabgesetzt werden konnte. Selbstverständlich wird es auch möglich sein, ein Objektiv desselben Typus zu konstruieren, welches zur Benutzung mit nur einem Prisma geeignet ist.

Der Verf. führt sodann weiter aus, daß doch noch ein Bedürfnis bestehe, eine größere lineare Dispersion zu erzielen. Diese kann nur erreicht werden durch ein Objektiv längerer Brennweite und Anwendung von zwei oder drei Prismen. Zunächst biete sich für diesen Zweck das Hartmann-Zeiss-Objektiv „Chromat" dar, welches aus derselben Glasart wie die Prismen hergestellt ist und ein ganz ebenes Bild ergibt, allerdings bei einer Neigung der Aufnahmeplatte von 16° gegen die Achse. Der Verf. möchte aber ein achromatisiertes Objektiv, dessen scharfe Bildfläche senkrecht zur Achse liegt, vorziehen. Er benutzte deshalb ein Ross-Objektiv von 76 mm Öffnung und 711 mm Brennweite, für solche Zwecke. Dieses Objektiv besteht aus vier Einzellinsen, es hat eine nahezu symmetrische Konstruktion. Es lieferte ähnliche Bildkrümmungen wie das Moffit-Objektiv, nämlich bei Benutzung eines Prismas eine stark konvexe Bildfläche, bei mehreren Prismen aber ein praktisch ebenes Bild. Da dieses Objektiv dieselbe Brennweite hat wie eines der Triplets, so war die Auswechselung beim Übergang von einem zu mehreren Prismen sehr einfach.

H. Krüss.

Über den Meßbereich der Refraktometer.

Von G. Haenzel. *Ztschr. f. Techn. Phys.* **4.** *S. 140. 1924.*

Nachdem M. Schulz früher die Bedingungen erörtert hatte, denen Winkel und Brechungszahl des Meßprismas genügen müssen, um einen bestimmten Meßbereich zu ergeben, und dabei erwähnt hatte, daß es möglich sei, bei gleichem Prismenwinkel durch Änderung des Glasmaterials verschiedene Meßbereiche zu erzielen, die aneinander anschließend gewählt werden können, untersucht Verf. nun, welche Grenzen für Lage und Ausdehnung der Meßbereiche durch die zur Verfügung stehenden Glasarten, deren Brechzahl bekanntlich als etwa zwischen 1,5 und 1,9 angenommen werden kann, in Betracht kommen. In Rücksicht auf möglichst geringe Reflexionsverluste nimmt er dabei an, daß die den Grenzen des Meßbereichs entsprechenden Austrittswinkel symmetrisch zum Lot auf der Austrittsfläche liegen. *H. Krüss.*

Über den Gebrauch von Rauchgläsern bei optisch-pyrometrischen Messungen.

Von Fr. Hoffmann. *Zeitschr. f. Physik* **17.** *S. 1. 1923.*

Zur Ausdehnung des Meßbereiches eines optischen Pyrometers benutzt man Lichtschwächungseinrichtungen, welche die Intensität der in das Pyrometer eintretenden Strahlung in meßbarer Weise verringern, wie solches auch in der optischen Photometrie üblich ist. Als einfachste solcher Vorrichtungen bieten sich die Rauchgläser dar.

Handelt es sich um monochromatisches Licht, so ist die Berechnung der stattgefundenen Strahlungsschwächung in einfacher bekannter Weise ausführbar. Aber die zur Herbeiführung einfarbigen Lichtes dem Pyrometer beigegebenen roten Gläser lassen durchweg nicht einen so engbegrenzten Bezirk einer Wellenlänge hindurch, daß sie als einfarbig angenommen werden können. Infolgedessen macht sich auch die nicht vollkommene Neutralität der zur Strahlungsschwächung benutzten Rauchgläser bemerkbar und es handelt sich bei Untersuchung des Falles offenbar um

[1]) *Diese Zeitschr.* **44.** *S. 422. 1924.*


Digitized by Google

die Gesamtwirkung des roten Glases und des Rauchglases. Beide können sich nach ihrer spektralen Durchlässigkeitskurve in Bezug auf die Monochromasie verstärken oder vermindern.

Der Verf. zeigt, daß die wirksame Wellenlänge sich unter Zuziehung der spektralen Helligkeit des schwarzen Körpers auf Grund des Wienschen Strahlungsgesetzes sowie der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges unschwer berechnen läßt, wenn die Durchlässigkeitskurven des Rotfilters und des Rauchglases gegeben sind. Er führt diese Rechnungen durch für das Jenaer Rotfilter F 4512 und die Rauchgläser F 3815 und F 7839, welche beiden Rauchgläser etwa 1 bzw. 11 Prozent hindurchlassen. Dabei wird auch der Farbenunterschied zwischen der geschwächten Strahlung und der ungeschwächten infolge der anderen spektralen Zusammensetzung der höher temperierten Strahlung bemerkbar. Infolgedessen zeigt selbst die an sich vollkommen neutrale Schwächung durch einen rotierenden Sektor einen Gang für verschiedene Temperaturen.

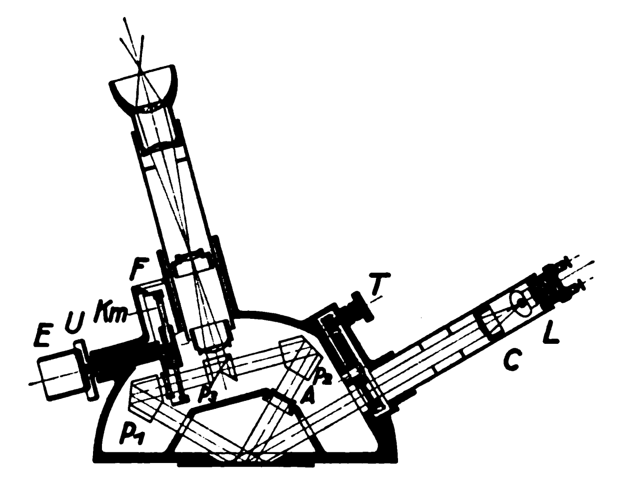
Es zeigte sich bei den Versuchen des Verfassers, daß bei Temperaturen von 1100 bis 4000° C bei dem Rotfilter mit dem Rauchglas F 3815 die pyrometrische Schwächung mit steigender Temperatur um 1,5 Prozent zunimmt, während sie mit dem Rauchglas F 7839 fast konstant ist. Die aus rein optischen Messungen berechneten Werte wurden bei 1400° als in Übereinstimmung mit den pyrometrisch gemessenen Werten gefunden. *H. Krüss.*

Über Glanz und Glanzmessung.

Von H. Schulz. *Zeitschr. f. Techn. Phys.* **4.** *S. 135. 1924.*

Nach theoretischen Erörterungen über die Entstehung und Bewertung des Glanzes beschreibt der Verf. einen Glanzmesser, durch welchen der Glanzgrad einer Oberfläche bestimmt werden kann. Als Glanzgrad nimmt der Verf. den Wert R/D an, in welchem R die Intensität des regelmäßig reflektierten Lichtes, D den Betrag der diffusen Strahlung bedeutet. Bei vollkommen reflektierenden Flächen (poliertes Glas, poliertes Metall) ist $D = 0$, also $R/D = \infty$, für ideal diffuse Oberflächen R, ebenso wie der Glanzgrad gleich Null.

Der Glanzmesser ist in beistehender Figur dargestellt. Als Lichtquelle dient eine kleine Lichtquelle L mit dem Kondensor C. Die von der zu untersuchenden Fläche regelmäßig reflektierten Strahlen werden durch das Prisma P_1, die diffusen Strahlen durch das Prisma P_2 auf das Vergleichsprisma P_3 gelenkt und die durch eine schwache Linie getrennten beiden Felder dieses Prismas durch ein Beobachtungsrohr scharf eingestellt. Um das in der Richtung des reflektierten Strahles verlaufende Bündel meßbar zu schwächen, wird der durch den Knopf E einstellbare kreisrunde Meßkeil K_m benutzt; seine Stellung kann durch das Fenster F abgelesen werden. Die durch ihn in seiner Nullstellung hervorgerufene Lichtschwächung wird auf der anderen Seite durch die eingeschaltete Platte A ausgeglichen. Der Meßbereich kann durch einen mit dem Umschalter U verbundenen Absorptionskeil vergrößert werden. Mit dem Triebknopf T ist endlich eine drehbare Scheibe verbunden, die verschiedene Lichtfilter trägt. Diese sind so gewählt, daß die Schwerpunkte des durchgelassenen Lichtes bei 630, 580, 530 und 480 $\mu\mu$ liegen. Man kann dadurch mit für den vorliegenden Fall als monochromatisch zu bezeichnenden Licht arbeiten.



Aus den Versuchsergebnissen sei erwähnt, daß sich für Schreibpapiere Glanzgrade zwischen 0,97 und 2,09 ergaben, für photographische Papiere aber solche bis zu 16. Haben die zu untersuchenden Flächen eine ausgesprochene Struktur, wie z. B. Gewebe, so wird der Glanzgrad wesentlich durch die Lage der Strukturelemente gegen die Einfallsebene beeinflußt. Es treten bei Drehung der zu untersuchenden Fläche dann ein oder mehrere Maxima und Minima auf. *H. Krüss.*


Digitized by Google

Zur Präzisierung der Sichtmessung.

Von A. Wiegand *und* K. Genthe. *Physikal. Zeitschr.* **25.** *S. 212. 1924.*

Die von den Verf. benutzte Vorrichtung zur Bestimmung der Sichtweite — der Sichtmesser — besteht im wesentlichen aus einer Anzahl Mattgläsern, von denen jeweils so viele benutzt werden, daß der anvisierte Gegenstand gerade verschwindet. Es wurde dann für die Größe der Sicht der Ausdruck $S = \frac{l}{a_m - a}$ benutzt, wobei angenommen wurde, daß sich die Trübung der Luft bis zu dem Grade des Verschwindens nicht selbstleuchtender Objekte proportional der Schichtdecke l ändert und daß der Trübungsgrad des Mattglases im Sichtmesser einen der Lufttrübungsänderung angepaßten Maßstab darstellt. Die Sicht S wurde gleichgesetzt dem reziproken Wert des optischen Trübungsgrades der Luft für die Zielentfernung $l = 1$. a bedeutet die eingestellte Sichtmessertrübung, a_m den konstanten maximalen Trübungswert, so daß $a_m - a$ das Maß der Lufttrübung für die Entfernung l und $(a_m - a)/l$ die Lufttrübung für $l = 1$ ist.

Es zeigte sich aber, daß bei gleichem Zustand der getrübten Luft für verschieden entfernte Ziele nicht, wie es sein müßte, der gleiche Wert für S erhalten wird. Ein entfernteres Ziel ergab stets einen größeren Wert als ein näher gelegenes. Der Grund für dieses Verhalten ist nach den Verf. darin zu suchen, daß das Gesetz der Trübung durch die Mattgläser ein anderes ist als für die Trübung der Luft. Es muß also die obige Formel für S durch ein negatives, der Entfernung l proportionales Glied vermindert werden. Durch Versuche wurde die Größe des mit l zu multiplizierenden Faktors festgestellt, sie gilt selbstverständlich nur für den dazu benutzten Sichtmesser bzw. für die bei demselben angewandten Mattgläser.

Die Form und Farbe, namentlich aber die Größe des Zieles haben weiter einen Einfluß auf das Messungergebnis. Es hat sich nach den Erfahrungen der Verf. eine Zielgröße zwischen 0,2 und 0,5° als am günstigsten erwiesen. Deshalb nehmen sie den Winkel von $0{,}34^{\circ} = 1220''$ als normal an und fügen für andere Zielgrößen einen aus ihren Versuchen abgeleiteten Summanden dem Ausdruck für S hinzu. Wird zur Beobachtung ein Fernrohr benutzt, so muß auch der durch das Fernrohr infolge von Absorption in seiner Glasmasse und Reflexion an den Glasflächen entstehende Lichtverlust zu der Trübung durch die Mattgläser hinzugefügt werden.

Endlich haben die Verf. noch Versuche über den Einfluß der Sehschärfe auf das Messungsresultat gemacht, indem sie die normale Sehschärfe eines Beobachters durch Vorsetzen schwacher Linsen verringerten. Sie kamen zu dem Ergebnis, daß bei einer Abweichung bis zu $\pm$ 0,5 Dioptrien, was einer Verminderung der Sehschärfe um 20 Prozent entsprechen würde, die Sichtmessereinstellung unter der Grenze des Einstellungsfehlers bleibt. *H. Krüss.*

Die optischen Konstanten chemisch reiner, undurchsichtiger, durch Kathodenzerstäubung hergestellter Metallschichten.

Von Karl Lauch. *Ann. d. Physik.* **74.** *S. 55. 1924.*

Von der vorliegenden Arbeit interessiert hier im wesentlichen die Technik der Zerstäubung. Sie wurde in einem helmartigen Glasgefäß ausgeführt, das auf einem tellerartigen Untersatz ebenfalls aus Glas stand; beide Teile waren so gut abgeschliffen, daß sie ein Vakuum von einigen zehntausendstel Millimetern mehrere Tage hielten. Vor die Glocke war eine Flüssige-Luftfalle geschaltet, um Quecksilber- und Fettdämpfe abzufangen. Es wurde durch eine Gaede-Ölpumpe und eine rotierende Gaede-Quecksilberpumpe evakuiert. Die Stromzuführungen im Innern der Glocke wurden durch Hartglasröhren vor dem Zerstäuben geschützt. Als Anode erwies sich eine Kupferplatte am günstigsten. Für Abdecken der Kathode ist Glimmer gut, Glas bewährte sich nicht. Als Material für sie diente Silber, Gold, Platin, das häufig bei schwacher Rotglut in einer Wasserstoffflamme ausgeglüht wurde, ferner Kupfer und Nickel, das abgeschmirgelt wurde. Vor der Zerstäubung wurde mehrmals vollkommen evakuiert, mit elektrolytisch gewonnenem Wasserstoff gespült und dann das Zerstäubungsvakuum eingestellt. Zu Beginn der Entladung lag auf der zu überziehenden Fläche ein Glimmerblättchen, mit Eisen beschwert, das nach einigen Minuten Zerstäubungsdauer magnetisch weggezogen wurde. Das Metall zerstäubte am besten, wenn sich der Dunkelraum nahe am Spiegel, parallel zur Kathode befand. Zu große Nähe des Dunkelraums ist schädlich. Der zu bestäubende Gegenstand muß kleiner als die Kathode sein. Silber und Gold


Digitized by Google

geben am schwierigsten einwandfreie Resultate. Auch Inhomogenitäten des Kathodenmaterials, z. B. die Ansatzstelle der Stromzuführung, machen sich bemerkbar. Zur Abkühlung der Kathode wurde die Zerstäubung mit Unterbrechungen ausgeführt, so daß ein Spiegel 3 bis 4 Stunden erforderte. Platin-, Kupfer- und Nickelschichten boten keine Schwierigkeiten. Diese haften auch sehr fest, jene nur wenig. Am schnellsten erfolgt Zerstäubung im Stickstoff, der auch die schönsten Schichten lieferte. Weniger gut war Luft, Wasserstoff arbeitete am langsamsten. Kupfer zerstäubte am schnellsten, Nickel am langsamsten. Praktisch hält man das Vakuum möglichst niedrig und arbeitet mit niedriger Spannung und großer Stromstärke, wie es die Kathode zuläßt, mit Dunkelraum nahe am Schirm. *Block.*

Der heutige Stand der photochemischen Versuchstechnik.

Von J. Plotnikow. *Zeitsch. f. Techn. Phys.* **5.** *S. 113. 1924.*

Der Verf., welcher in seiner photochemischen Versuchstechnik Leipzig 1922 und in dem Grundriß der Photochemie Berlin 1923 die photochemische Versuchstechnik ausführlich behandelt hat, gibt hier eine mehr summarische Übersicht über den Stand dieser Technik, eine Zusammenstellung, die auch vom Standpunkt der Instrumentenkunde nicht uninteressant ist.

Er behandelt die verschiedenen in Betracht kommenden Lichtquellen, von denen er die Quecksilberbogenlampe als die geeignetste für photochemische Versuche hinstellt und gibt mehrere Abbildungen von durch ihn konstruierten Lichtthermostaten. Er verbreitet sich sodann über die verschiedenen Methoden der Messung der vom Reagens absorbierten Lichtmengen (Spektralphotometer, photographische, bolometrische und thermische Methoden) und die Messung der Schwärzung photographischer Platten. *H. Krüss.*

Bücherbesprechungen.

British (Terra Nova-) Antarctic Expedition 1910—1913: F. Debenham, Report on the Maps and Surveys. VIII, 94 S. Fol. mit Abb. und 15 Karten. London, Harrison 1923.

Dieses Werk über die geographischen Ergebnisse (Karten) und die ihnen zugrundliegenden Messungen und Aufnahmen der Terra Nova-Expedition in die Antarktis (1900—1913; Scott erreichte den Südpol am 18. Januar 1912, nachdem Amundsen 1 Monat früher dort gewesen war, 14. bis 17. Dezember 1911) auch hier mit einigen Worten anzuzeigen, werde ich veranlaßt durch die Bemerkungen des Verf. über die instrumentelle Ausrüstung zu Messungen in so hohen Breiten (70° bis 90°). Sie beziehen sich auf alle Arten von Instrumenten, die für solche geographische Messungen von verhältnismäßig geringer Genauigkeit in Betracht kommen.

Die Hauptwinkelmeßinstrumente waren sechs für die Expedition besonders gebaute kleine Universale von T. Cooke and Sons, York, mit 4-zölligen (10 cm-) Kreisen und Ablesung durch je zwei Nonien auf 30″. Dem Fernrohr wurde besondere Sorgfalt gewidmet; die Öffnung des Objektivs ist 1 Zoll (25 mm), Brennweite $6^{1}/_{2}$ Zoll (16 bis 17 cm), zwei Okulare geben 15- und 25-fache Vergrößerung, das Fernrohr ist mit dem Objektivende durchschlagbar, vor dem Okular ist eine Revolverblende mit verschieden dunklen Gläsern. Als Fadenkreuz dienen drei Vertikalstriche und ein Horizontalstrich auf Glasplättchen, für Sommerarbeit und auf Reisen über Schnee „wohl die beste Anordnung“; manchmal wurde jedoch das Fernrohr wegen Trübung des Diaphragmaplättchens unbrauchbar, so daß es, für Winterarbeit im Hauptquartier, erwünscht ist, ein Reserve-Diaphragma mit Spinnfäden zur Hand zu haben. Die Kippachsenenden wurden in runde Lager gelegt. Die Handscheiben der Fußschrauben des Instruments (der Verf. ist mit der Anordnung von 4 Fußschrauben nicht sehr einverstanden) sind mit weichem Leder überzogen. Die Bussolennadel konnte durch das kleine Gleitgewicht nicht genügend horizontal gelegt werden wegen der in so hohen Breiten sehr großen Inklination; es mußte durch ein Stück Kupferdraht nachgeholfen werden. Für die Libellen an Instrumenten für hohe Breiten wird oft empfohlen, sie bei der Herstellung in Europa oder Amerika so weit zu füllen, daß nur eine ganz kleine Libellenblase vorhanden ist, damit auch bei tiefen Temperaturen die Blase nicht so lang wird, daß Einspielen oder Ablesen


Digitized by Google

nicht mehr möglich ist. Da jedoch von England zum Südpol die ganze heiße Zone gekreuzt werden muß, wurde zur Sicherung gegen das Zerspringen des Libellenrohrs bei hohen Temperaturen vorgezogen, durchaus Kammerlibellen zu verwenden. Auf die Möglichkeit der Verschiebung des Instruments auf dem Stativ ist verzichtet. Für jeden zweiten Theodolit wurden reichlich Ersatzteile (Glasdiaphragmen, Libellen, Beleuchtungseinrichtungen usw.) beigegeben; daß in dem Transportkasten die gewöhnlichen Beigaben: Schraubenzieher, Staubpinsel, Ölflasche usw. nicht fehlen durften, versteht sich ebenso von selbst, wie daß auf die Verpackung der Instrumente die größte Sorgfalt verwendet wurde. Die Gewichte waren: Instrument selbst 2,7 kg, Transportkasten mit Zubehör und Ersatzteilen 1,8, Stativ 1,8 kg. Die kleinen Instrumente haben sich gut bewährt bei allen Messungen untergeordneter Genauigkeit (besonders unterwegs); für die Triangulation als Grundlage einer größern Aufnahme oder für Messungen in der Nähe des Standquartiers wären einige Theodolite mit etwas größern Kreisen sehr erwünscht gewesen.

An Schiffschronometern hat die Terra Nova-Expedition 8 mitgenommen, von denen nach der Ankunft im Forschungsgebiet 3 auf dem Schiff blieben, 2 auf der Station Cape Adare und 3 auf der Station Cape Evans verwendet wurden. Zahlreiche Taschenchronometer (deck watches) wurden von den Expeditionsmitgliedern auf den Schlittenreisen in besondern waschledernen Westentaschen am Körper getragen, und zuerst täglich einmal, später aber, nach mehreren Unglücksfällen in Form des Ablaufens einer Uhr, regelmäßig zweimal, vor Beginn und nach Beendigung des Tagesmarschs, aufgezogen.

Zur Streckenmessung bei den Aufnahmen der Schlittenrouten wurde ein besonderes Instrument (6 Exemplare), „sledgemeter“ genannt und von Smith and Son in London hergestellt, verwendet. Es ist ein Meßrad, dessen Umfang aus einem Aluminiumband besteht, mit einer Anzahl kleiner vorstehender Stifte. Das Rad sitzt in einer Gabel, an der ein Tourenzählwerk von bekannter Einrichtung angebracht ist, das die zurückgelegte Strecke in Seemeilen (1 Seemeile = 1854 m = 2028 yards) und „bis auf 100 yards genau“ angibt. Diese sledgemeter gaben für Routenaufnahmen einigermaßen brauchbare Resultate, die jedoch von der Beschaffenheit des Schnees oder des sonstigen Grundes, über den das Rad geführt wird, so sehr abhängig sind, daß von Verwendung für irgendwelche genauen Zwecke keine Rede sein kann; z. B. gaben Messungen einer bestimmten Strecke auf dem Meereseis nahe beim Standquartier Cape Evans, die 4 mal hin und 4 mal zurück gemacht wurden, auf dem Hinweg (gegen Ost) 1868 m (mit Abweichungen der einzelnen 4 Messungen bis zu 6 m von diesem Mittel), auf dem Rückweg (gegen West) 1893 m (mit Abweichungen der einzelnen 4 Messungen bis 8 m vom Mittel), ohne daß für den großen Unterschied von 25 m zwischen beiden Mitteln von je 4 Messungen eine befriedigende Erklärung gefunden werden konnte. Das „sledgemeter“ ist also für Messungen von nur ganz untergeordneter Genauigkeit (Routenstrecken) brauchbar und wird auch durch die Verbesserungsvorschläge des Verf. kaum zu einem Instrument gemacht werden können, mit dem z. B. eine kurze Grundlinie für eine Kleintriangulierung (Hafen, Bucht od. dgl.) zu messen wäre.

An Aneroiden wurden 12 Stück mitgeführt, alle von 3 Zoll ($7^1/_2$ cm) Teilungsdurchmesser, wobei die Höhenskalen bei 3 auf 12000 feet (rund 3700 m), bei 4 auf 8000 feet (2400 m), bei 5 auf 6000 feet (1800 m) gingen; sie sollen sehr sorgfältig kompensiert gewesen sein, auch besondere Konstruktion insofern gezeigt haben, als das ganze Werk nebst Zeiger mit der drehbaren Rückseite des Gehäuses gedreht werden konnte. Nähere Beschreibung dieser Instrumente wäre sehr erwünscht gewesen, ist jedoch nicht gegeben. Die Aufzählung der kleinern Instrumente und Geräte (Hypsometer, Thermometer, 100 feet-Stahlband, Fluidkompasse, Prismenbussolen, kleine Sextanten, unterwegs hergestellte Meßtischchen und Sonnenuhren usf.) kann hier unterbleiben; auch auf die Verwendung der Instrumente im einzelnen kann nicht weiter eingegangen werden. — Es mag genügen noch anzugeben, daß auf der Schlittenfahrt vom Hauptquartier aus nach S. zum Pol als Hilfsmittel für die Routenfestlegung dienten: die 4 zölligen Theodolite, Deckuhren (s. oben), Fluidkompasse und kleine Prismenkompasse, Sledgemeter, Aneroide, Schleuderthermometer.

Zum Schluß sei nur noch erwähnt, daß der Verf. der Meinung Ausdruck gibt, man dürfe die klimatischen Schwierigkeiten für genaue geodätische Messungen in der Antarktis, so bedeutend sie sind, auch nicht überschätzen. Er schlägt denn auch, neben der Fortsetzung der Messungen


Digitized by Google

von geographischer Genauigkeit, die Messung eines Meridianbogens vor von etwas über 4° Länge entlang der Küste der Ross Sea vor, etwa zwischen der Coulman-Insel oder wenigstens dem Mt. Melbourne (etwa $74^1/_2{}^0$ S. B.) und dem Minna Bluff (78°40′); er entwirft dazu ein geeignetes Triangulationsnetz und weist drei verschiedene Stellen als geeignet zu einer Grundlinienmessung nach. Es wäre in der Tat für die Kenntnis der Erddimensionen sehr willkommen, einen Gradbogen in so hoher S. Breite dem spitzbergischen Meridianbogen in hoher N. Breite gegenüberstellen zu können.

Hammer.

Kelvin Mckready, Sternbuch für Anfänger. Übersetzt von Sr. Max Iklé. 3. erweiterte Aufl., bearbeitet von Sr. J. Weber. Gr. 8°. IX, 150 S. mit 78 Abb. u. 2 Taf. Leipzig, J. A. Barth, 1923. Geb. 15 Goldmark.

Zehn Jahre nach der ersten Herausgabe des schönen Buches, auf das wir in *dieser Zeitschr. 34. S. 63. 1914* hingewiesen haben, erscheint die 3. Auflage — ein gutes Zeichen für die Zunahme astronomischer Liebhaberei in Deutschland.

Inhalt und Umfang ist im wesentlichen unverändert geblieben, die Tafeln für die Planetenörter indes bis 1940 erweitert. Einige neue astronomische Methoden, z. B. von Michelson, sowie die Arbeiten von Adams und Kohlschütter, ferner die Untersuchungen von Strömgren sind eingeflochten.

Die Ausstattung des Buches ist vorzüglich; auf dem benutzten Papier kommen die feinsten Einzelheiten der zahlreichen Photographien ausgezeichnet zur Geltung.

G.

Karl Schmiedel, Die Prüfung der Elektrizitäts-Zähler. Meßeinrichtungen, Meßmethoden und Schaltungen. Zweite verbesserte und vermehrte Auflage. 185 S. mit 122 Textabbildungen. Julius Springer, Berlin 1924. Geb. 8,40 Goldmark, geb. 2 Dollar.

Die zweite Auflage des Buches bringt gegenüber der ersten die begrüßenswerte Vervoll ständigung einer Anzahl von Abschnitten und eine Erweiterung durch Einschieben einiger neuer Abschnitte über solche Punkte, deren Behandlung in den dem Titel des Buches entsprechenden Rahmen hineingehört, in der ersten Auflage jedoch fehlte. Das betrifft vornehmlich eine ausführlichere Behandlung des Abschnittes über Blindverbrauchszähler und die Hinzufügung eines Abschnittes über Prüfung von Strom- und Spannungswandlern. Erweitert wurden auch die Abschnitte über Drehfeldrichtungsanzeiger, Eichzähler, permanente Magnete, Messung des Eigenverbrauches im Spannungskreis von Wechselstromzählern mittels der Dreivoltmetermethode sowie der Abschnitt über die zulässigen Fehlergrenzen, letzterer durch Einfügen der Verkehrsfehlergrenzen für Zähler und der Beglaubigungsfehlergrenzen für Meßwandler. Es sei an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht, daß sich in die auf Seite 8 angegebene Formel für die Beglaubigungsfehlergrenze der Meßwandlerzähler ein Versehen eingeschlichen hat, indem der Faktor $\frac{1}{2}$ an dem letzten Glied der rechten Seite der Formel vergessen wurde. Neu eingefügt wurde ferner eine Anzahl kleinerer Abschnitte wie Regelung der Phasenverschiebung durch Widerstände und Kondensatoren bei der Prüfung von Wechselstromzählern, Messung des Eigenverbrauchs im Strom- und Spannungskreis der Wechselstromzähler mittels Brückenmethoden, Prüfung der Spannungsspulen auf Kurzschlußwindungen, Anlauf und Leerlauf der Zähler. Die Erweiterungen und neu eingeführten Abschnitte sind bestens durch Abbildungen und Schaltskizzen in der gleichen Weise illustriert, wie sie von der ersten Auflage des Buches her bekannt ist. Der Abschnitt über Reibungsmessungen, der in der ersten Auflage in einer Breite behandelt wurde, die in keinem Verhältnis zu dem Umfang des Buches steht, ist etwas gekürzt worden, ohne daß dadurch dem Verständnis des Abschnittes Abbruch getan wird.

Scheld.

Neue Listen über Vermessungsinstrumente von **Hildebrand,** Freiberg.

Eine unserer bekanntesten und ältesten Werkstätten (1791 gegründet) für Vermessungsinstrumente legt eine Anzahl neuer Teillisten vor, nämlich für mittlere und kleinere Theodolite (Theo 7), Bussolentheodolite (Theo 8), Katastertheodolite (Theo 9), Nivelliere (Niv 4 und 5), Hängetheodolite, endlich einige Sonderinstrumente, die im Bauwesen des Bahn- und Wasserbauingenieurs (Ing. 1 und 2) in Betracht kommen können.


Digitized by Google

Die Vermessungsinstrumente dieser Werkstatt sind zu allgemein verbreitet, sowie als vorzüglich gearbeitet und leistungsfähig anerkannt, als daß ihr Lob hier in allgemeinen Redewendungen zu verkünden wäre. Ist doch z. B. der „Einheitstheodolit“ von H. (12 cm Lagekreis, 9 cm Höhenkreis) vielleicht das verbreitetste Winkelmeßinstrument für die Arbeiten der Land- und Feldmessung, und ist doch seit Jahrzehnten kaum eine wissenschaftliche Expedition in wenig erforschte Länder aus Deutschland abgegangen, ohne mit dem „kleinen Hildebrand“ (8 cm-Lagekreis, $9^1/_2$ cm-Höhenkreis) ausgerüstet zu sein, der auch für eine große Zahl von Inlandsarbeiten und in höhern Schulen treffliche Dienste leistet.

Der Verf. hat auch garnichts dagegen einzuwenden, daß man in diesen Verzeichnissen fast ausschließlich altbekannte Formen und Einrichtungen trifft; denn weniger als irgendwo sonst bedeutet dies für die Geräte des Vermessungswesens eine Stagnation. Im Gegenteil: für manche in unsern Tagen gepriesene Neuerung auf diesem Gebiet ist man den Nachweis schuldig geblieben daß das Neuere auch das Bessere sei.

Das Heft Theo 7 schließt die großen Instrumente zur Haupttriangulation, für Landvermessungs- und Erdmessungszwecke, mit Kreisen bis zu 30 cm Durchmesser und Schraubenmikrometerablesung bis auf 1″ aus; es bietet eine reiche Auswahl von kleinern Theodoliten und Universalen, mit Nonien-, Strichmikroskop- und Skalenmikroskop-Ablesung und Kombinationen dieser Möglichkeiten, für die Arbeiten der Land- und Feldmessung (Kleintriangulation, Zugmessung, Stückmessung, allgemeine und besondere Vorarbeiten für Ingenieurbauten, weniger genaue trigonometrische Höhenmessung, wie sie besonders in der Tachymetrie vorkommt). Auch die besondern Bedürfnisse des Markscheiders sind, wie bei H. selbstverständlich, sehr vollständig aufgenommen (Aufsetzbussole in Kreis-, Kasten- und Röhrenform; Deklinatorien und Orientierungsmagnetometer; Ablotinstrumente; schwenkbare Ablesemikroskope zur Arbeit bei beschränktem Raum; Gruben- und andere Signale). Die „Bussolentheodolite“ in Theo 8 sind besonders für das Ausland wichtig; die „Katastertheodolite“ in Theo 9 (16 cm-Theodolit, mit Nonien- oder Skalenmikroskop-Ablesung) haben, wie der Name wohl andeuten soll, keinen Höhenkreis.

Außerordentlich reich ist auch die Auswahl der in Niv. 4 und 5 gebotenen Nivelliere, hier vom Instrument für die größte verlangte Genauigkeit der Einwägung an bis zum kleinsten Bauplatz-Werkzeug herunter; nur eines dieser kleinern Instrumente zeigt geschlossenes Fernrohr mit negativer Fokussierlinse. Eingeschlossen ist hier auch das „Nivelliertachymeter“ nach Voglers Programm und ein „Universal-Nivellier“, ebenfalls mit Entfernungsfäden und zwei Höhenbögen in Form von Horizontsektoren. Auch an Nivellierlatten ist reiche Auswahl vorhanden[1]).

Über den Hängetheodolit vgl. u. a. *diese Zeitschr.* **32.** *S. 315. 1912* und Lüdemann, Mittlg. Markscheidewesen, *3. F., Jahrg. 1921, S. 19*; es ist die „einzige Neukonstruktion eines markscheiderischen Vermessungsinstrumentes der letzten Jahrzehnte, die sich wirklich durchgesetzt hat“.

Von den Heften Ing. 1 und 2 behandelt das erste ein Sonderinstrument ohne Kreisteilung zum Ausrichten langer Geraden (Stollenbau, Seilbahnen, Hochspannungsleitungen) in drei verschiednen Größen, die zweite eine vollständige Messungseinrichtung zur Untersuchung der Bewegungen von Mauerkörpern, besonders bei großen Staumauern.

Eine sprachliche Bemerkung möge bei dieser Gelegenheit zu Theo 7 bis 9 gestattet sein. Seit Jahrzehnten ist bei Universalen und Theodoliten die Bezeichnung Höhenkreis statt Vertikalkreis immer üblicher geworden, wie sie auch in den vorliegenden Verzeichnissen durchaus angewendet wird und den Ausdrücken Höhenwinkel statt Vertikalwinkel, Höhenmessungen statt Vertikalmessungen entspricht. Dem Hauptabschnitt Höhenmessungen steht nun in der Vermessungskunde der andere Hauptabschnitt Lagemessungen gegenüber, der erst in den letzten Jahren die „Horizontalmessungen“ ebenfalls fast vollständig verdrängt hat; auch in andern Verbindungen hat sich das Wort „Lage“ mit Recht durchgesetzt, z. B. ist jetzt Lageplan statt Situationsplan allgemein im Gebrauch. Beim Theodolit dagegen ist der früher allgemein übliche „Horizontalkreis“ jetzt

[1]) Soeben wird noch das Blatt „Niv 9“ ausgegeben, das das beim Reichsamt für Landesaufnahme eingeführte große Nivellier für die feinsten Einwägungen und zugehöriges Gerät zum Gegenstand hat.


Digitized by Google

vielfach dem „Grundkreis“ gewichen (nach dem Vorgang von C. Müller u. a.); so auch in den vorliegenden Listen. Es ist auch gegen dieses Wort nur zu sagen, daß das entsprechende Wort für „Horizontalwinkel“ kaum in Gebrauch kommen wird, und auch Grundrißwinkel statt Grundwinkel wäre aus mehr als einem Grund nicht befriedigend. Aber wie wäre es mit Lagewinkel statt Horizontalwinkel? Es stünden dann Höhenwinkel zur Höhenbestimmung, Lagewinkel zur Lagebestimmung von Punkten einander recht schön gegenüber. Aber dann sollten wir meiner Meinung nach auch statt Grundkreis lieber Lagekreis sagen; Lagemessung mit Hilfe des Lagekreises, Höhenkreis für die Höhenmessung.

Zu einer andern Bemerkung geben die Bilder der hier angezeigten Teilverzeichnisse Anlaß, nämlich zur Besprechung eines gleichzeitig von Hildebrand herausgebrachten besondern Werkchens. Daß die Bilder in den Verzeichnissen der Instrumente aus guten Werkstätten in den letzten Jahrzehnten immer deutlicher und schöner geworden sind, daran haben wir uns gewöhnt; man verdankt vielleicht Fennel in Cassel den größten Fortschritt in dieser Beziehung. So sind auch die Abbildungen in diesen Heften von Hildebrand, fast ausschließlich in der Linienschattierung des Holzschnitts oder (bei Konstruktionszeichnungen) in der Linienschraffierung der Zinkographie gegeben (— nur ausnahmsweise und nicht zu seinem Vorteil kommt ein Tonbildchen dazwischen vor —), fast durchaus musterhaft. Aber eine für manche Zwecke noch viel wirksamere und willkommenere Abbildung hat Hildebrand, zusammen mit seinem wissenschaftlichen Mitarbeiter Lüdemann (dem man auch eine große Zahl einzelner Genauigkeitsuntersuchungen und exakter „Gebrauchswert“-Bestimmungen Hildebrandscher Instrumente verdankt) in den „Raumbildern von Hildebrand-Präzisions-Instrumenten“ geschaffen, von denen soeben die 1. Reihe im eigenen Verlag, Freiberg, Sachsen, herausgegeben worden ist; vgl. dazu auch K. Lüdemann, „Das Raumbild in der Maschinentechnik“, *Maschinenbau 1. 1922. S. 84.* Diese Abbildungsart, die Herstellung von Raumbildern (Stereoskopbildern) von Instrumenten, in der Hildebrandschen Werkstatt seit Anfang 1919 gebraucht, verschafft in der Tat dem Beschauer eine Klarheit über die gegenseitige Lage der Teile des Instruments, die das gewöhnliche Ansichtsbild, oder für den, der Grund- und Aufriß zusammenzusetzen gewohnt ist, auch dieser geistige räumliche Aufbau nicht gewähren kann. Die sechs Stereoskopdarstellungen dieses 1. Teils der „Raumbilder“ bieten zuerst den „Einheitstheodolit“ (s. ob.; ohne Aufsatzbussole dargestellt), die drei nächsten den 8 cm-Theodolit mit Nonien-, Strichmikroskop und Skalenmikroskop-Ablesung, Nr. 5 den Hängetheodolit (s. ob.), Nr. 6 den „kleinen Hildebrand“. Man kann wirklich nur jedem Gebraucher und künftigen Käufer, oder auch nur Liebhaber von Vermessungsinstrumenten raten, sich diese Bilder zu verschaffen. Es gibt ja wohl auch genug Leute, die (wie der Ref.) auch ohne Stereoskop sich mühelos mit freien Augen die zwei photographischen Ansichten zum virtuellen Raumbild zu sammensetzen können. *Hammer.*

Dr. Günther Freiherr von Pechmann, Die Qualitätsarbeit. Ein Handbuch für Industrielle, Kaufleute, Gewerbepolitiker, 8°. 308 S. Frankfurter Societäts-Druckerei, G. m. b. H., Abt. Buchverlag, 1924. In Ganzleinen 6 M.

Der Schwerpunkt des Buches liegt wohl auf kunstgewerblichem Gebiet, trotzdem wird es auch dem Leserkreis unserer Zeitschrift viel Interessantes bieten, handelt es sich doch um eine gründliche Untersuchung der Voraussetzungen, die zur Wiedereroberung unserer Absatzgebiete zu erfüllen sind. *G.*

Gesetz über die Temperaturskale und die Wärmeeinheit vom 7. August 1924.

(Reichsgesetzbl. vom 12. August 1924, Teil I, S. 679.)

§ 1.

Die gesetzliche Temperaturskale ist die thermodynamische Skale mit der Maßgabe, daß die normale Schmelztemperatur des Eises mit 0° und die normale Siedetemperatur des Wassers mit 100° bezeichnet wird.

Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt hat diese Temperaturskale festzuhalten und bekanntzumachen.

Digitized by Google

§ 2.

Die gesetzlichen Einheiten für die Messung von Wärmemengen sind die Kilokalorie (kcal) und die Kilowattstunde (kWh).

Die Kilokalorie ist diejenige Wärmemenge, durch welche ein Kilogramm Wasser bei Atmosphärendruck von 14,5° auf 15,5° erwärmt wird.

Die Kilowattstunde ist gleichwertig dem Tausendfachen der Wärmemenge, die ein Gleichstrom von 1 gesetzlichen Ampère in einem Widerstande von 1 gesetzlichen Ohm während einer Stunde entwickelt, und ist 860 Kilokalorien gleich zu erachten.

§ 3.

Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt setzt fest, um wieviel die Angaben der Meßgeräte, die auf den gesetzlichen Einheiten nach § 1 und § 2 beruhen, von den Sollwerten abweichen dürfen.

§ 4.

Im geschäftlichen Verkehr, insbesondere bei Ausübung eines Berufs oder Gewerbes, sind für die Bestimmung und Messung von Temperaturen und Wärmemengen die gesetzlichen Einheiten (§§ 1, 2) maßgebend. Die Verwendung von Meßgeräten, die größere als die zulässigen Abweichungen (§ 3) aufweisen, ist verboten.

Gleiches gilt, soweit Behörden oder der Öffentlichkeit dienende Einrichtungen in Erfüllung ihrer Aufgaben Temperaturen oder Wärmemengen zu bestimmen oder zu messen haben.

Der Reichsminister des Innern ist ermächtigt, gemeinsam mit dem Reichswirtschaftsminister unter Zustimmung des Reichsrats Vorschriften darüber zu erlassen, wieweit die im Abs. 1 bezeichneten Meßgeräte amtlich beglaubigt oder einer wiederkehrenden amtlichen Überwachung unterworfen sein sollen.

§ 5.

Für die Prüfung und Beglaubigung der Meßgeräte ist die Physikalisch-Technische Reichsanstalt zuständig.

Der Reichsminister des Innern kann die Befugnis zur Prüfung und Beglaubigung anderen Stellen übertragen. Alle für die amtliche Prüfung dienenden Normalgeräte müssen durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt beglaubigt sein.

§ 6.

Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt führt die technische Aufsicht über das Prüfungswesen und wacht darüber, daß bei der amtlichen Prüfung und Beglaubigung der Meßgeräte im ganzen Reichsgebiete nach übereinstimmenden Grundsätzen verfahren wird. Diese Behörde erläßt alle darauf bezüglichen technischen Vorschriften und bestimmt insbesondere die Art, die Beschaffenheit und die Bezeichnung der Meßgeräte, die zur amtlichen Beglaubigung zugelassen werden sollen, sowie die bei der Prüfung und Beglaubigung zu beobachtenden Verfahren.

Ferner setzt die Physikalisch-Technische Reichsanstalt im Einvernehmen mit den Prüfämtern der Länder die zu erhebenden Gebühren und das bei den Beglaubigungen anzuwendende Stempelzeichen fest.

§ 7.

Strafbestimmungen.

§ 8.

Die Bestimmungen der §§ 1 bis 3, 5 und 6 dieses Gesetzes treten mit dem auf die Verkündung folgenden Tage, die übrigen Bestimmungen des Gesetzes ein Jahr später in Kraft.

(Unterschrift.)

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.



PERIODICAL ROOM
GENERAL LIBRARY
UNIV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ für Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben unter Mitwirkung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt von

L. Ambronn in Göttingen, W. Breithaupt in Cassel, M. Edelmann in München, P. Guthnick in Neubabelsberg, O. Günther in Braunschweig, W. Haensch in Berlin, E. v. Hammer in Stuttgart, K. Haußmann in Berlin, C. Hensoldt in Wetzlar, W. Hildebrand in Freiberg i. S., E. Kohlschütter in Potsdam, H. Krüss in Hamburg, H. Ludendorff in Potsdam, O. Lummer in Breslau, H. Maurer in Berlin, W. Nernst in Berlin, C. Pulfrich in Jena, M. v. Rohr in Jena, W. Sartorius in Göttingen, A. Schmidt in Cöln a. Rh., R. Steinheil in München, R. Straubel in Jena, E. Warburg in Berlin, F. Weidert in Berlin, E. Wiechert in Göttingen.

Schriftleitung: F. Göpel in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang.

1924.

11. Heft: November.

Inhalt:

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1924.


Digitized by Google

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande **nur** durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Die Berechnung erfolgt heftweise.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{1}$ Seite Umfang
30.— 60.— 120.— Goldmark

Bei 6 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist
10 20% Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,30 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseingangs. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungs**datum** (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) **nur** auf Postscheckkonto 118935 Berlin **Julius Springer** abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.



Präzisionsinstrumente
(registrierend und nichtregistrierend)
für
Luftdruck / Temperatur / Feuchtigkeit Windmessung / Sonnenschein / Niederschlag / Wasserstandsbeobachtungen

Kreuzvisier-Hensoldt

Prismenkreuz für 90° und 180°

Modell 1924.



Verlangen Sie Sonderliste: Kreuzvisier-Hensoldt.

Vorzüge des neuesten Modells:
Eintritt und Austritt der Strahlen rechtwinklig zu jedem Prisma.
Keine Versilberung
Helles, farbenreines Bild
Staubsichere, dauerhafte Fassung.
Preis: M. 16.—.

HENSOLDT WETZLAR

Zweigstelle: Hensoldt Handelsgesellschaft m. b. H. Berlin W 50, Kurfürstendamm 240.

Digitized by Google

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. H. **Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLIV. Jahrgang. **November 1924.** Elftes Heft.

Ein neuer Apparat zur Messung magnetischer Felder.

Von
F. Schröter in Godesberg.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Einleitung.

Bei physikalischen und elektrotechnischen Untersuchungen ist es oft erwünscht, magnetische Felder nach Größe und Richtung zu kennen. Ihre Berechnung gelingt nur in seltenen Fällen mit hinreichender Genauigkeit, da die Felderzeuger — z. B. Spulen oder Magnete — den Anforderungen an Gleichmäßigkeit meist nicht genügen oder durch ihre Gestalt eine rechnerische Behandlung sehr erschweren. Man denke z. B. an die Felder unter den Haupt- und Wendepolen elektrischer Maschinen, bei denen Ankerrückwirkung und Streuung zu beachten sind, oder an die Felder im Luftspalt kleiner Zählerbremsmagnete, die der Rechnung infolge der Magnetform in vielen Fällen kaum zugänglich sein dürften. Selbst bei dem verhältnismäßig einfachen Fall des Feldes am Ende einer langen Spule kann der errechnete Wert infolge von Unregelmäßigkeiten in der Wicklung nicht unerheblich von der Wirklichkeit abweichen.

Man sieht daher in solchen Fällen auch meist von der Rechnung ab und bestimmt das unbekannte Feld durch Messung. Dies kann auf verschiedene Weise geschehen. Man mißt z. B. ballistisch die Wirkung, die durch Kommutierung des Feldes in einer Prüfspule hervorgerufen wird. Falls diese Kommutierung nicht möglich ist, zieht man die Spule aus dem Feld heraus oder dreht sie um und mißt in gleicher Weise. Oder man stellt die Widerstandsänderung fest, die ein Leiter aus Wismut im magnetischen Felde erfährt, und entnimmt die zugehörige Feldstärke einer Eichkurve. In beiden Fällen kann man durch geeignete Ausbildung der Prüfspule bezw. der Wismutspirale noch Felder in recht engen Spalten ausmessen. Doch müssen auch da gewisse Nachteile in Kauf genommen werden.

Die Wismutspirale, deren Widerstandsänderung im magnetischen Felde bestimmt wird, erlaubt eine einigermaßen genaue Messung erst, wenn die Feldstärke wenigstens 1000 Gauß beträgt. Außerdem gibt sie nur die Größe, aber nicht die Richtung des Feldes an, was man je nachdem als Vorzug oder als Nachteil empfinden wird. Ferner ist die Temperatur der Spirale zu berücksichtigen. Und endlich verlangt die Auswertung der Messung immerhin einige Rechnung und die Benutzung einer Eichkurve, was bei einer großen Anzahl von Messungen etwas unbequem wird.

Die ballistischen Verfahren haben gegenüber der Wismutspirale den Vorzug eines größeren Meßbereiches, den man durch Verwendung von Spiegelgalvanometern noch erheblich steigern kann. In der Technik hat man sich jedoch mit ballistischen Galvano-

Digitized by Google

metern noch nicht sehr befreundet, was wohl zum Teil daran liegen mag, daß diese Instrumente keinen Dauerausschlag geben. Spezialkonstruktionen (überaperiodisch gedämpfte Systeme), die in diesem Punkte einen großen Fortschritt zeigen, sind teuer und lassen sich im allgemeinen nicht gut für andere Zwecke verwenden. Auch sind Spiegelgalvanometer zu feine Apparate, als daß man sie z. B. im Prüffeld einer Fabrik benutzen könnte.

Ein weiterer Nachteil der ballistischen Methode liegt darin, daß man die Prüfspule bewegen muß, wenn man das Feld nicht kommutieren kann. Eine Drehung der Spule erfordert Platz, der nicht immer vorhanden ist; beim Herausziehen der Spule aus dem zu messenden Feld können aber andere im Wege liegende Felder stören, ganz abgesehen davon, daß dies Verfahren in der Nähe bewegter Massen — z. B. unter den Polen einer laufenden Maschine — immer die Gefahr des Anstreifens und damit der Zerstörung der Spule mit sich bringt.

Im folgenden soll nun ein Apparat beschrieben werden, der in einfacher Weise die Messung der magnetischen Feldstärke nach Größe und Richtung erlaubt und zwar von etwa 10 Gauß an aufwärts bis zu Feldern beliebiger Größe.

Prinzip des neuen Apparates.

Der neue Apparat benutzt zur Messung eines Magnetfeldes die Deformation, die ein stromführender Leiter in ihm erleidet.

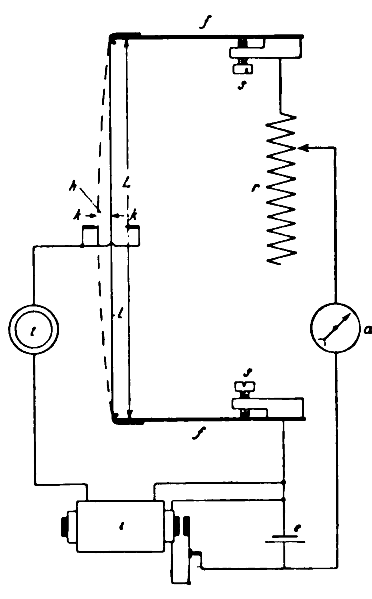


Fig. 1. Schaltungsschema.

Die Art und Weise, in der das geschieht, ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. In dem zu untersuchenden homogenen Felde befindet sich ein biegsamer, stromführender Leiter l, der an den beiden Federn f befestigt ist. Der von der Batterie e kommende Strom wird durch das Meßinstrument a bestimmt. Zur Messung kann ein gewöhnliches Amperemeter dienen. Der Strom wird durch Regulierung des Widerstandes r solange verstärkt, bis der Leiter l durch die auf ihn wirkende Kraft so weit durchgebogen wird, daß er einen der Kontakte k berührt. Der Kontaktschluß wird im Telephon t gehört. Den Kontaktkreisstrom liefert das kleine Induktorium i. Über den Vorteil, den die Anwendung eines Induktoriums bietet, wird noch weiter unten gesprochen werden.

Bei fest eingestelltem Kontaktabstand bleibt unter sonst gleichen Bedingungen die zum Kontaktschluß erforderliche mechanische Kraft K_1 bei allen Messungen konstant. Die auf den Leiter wirkende elektromagnetische Kraft ist nun

$$K_2 = c \cdot J \cdot \mathfrak{H}_l . \qquad 1)$$

Hierbei ist J der durch den Leiter fließende Strom und $\mathfrak{H}_l$ die Komponente des Magnetfeldes, welche senkrecht auf der Zeichenebene und damit auch auf dem Leiter steht, während c eine Konstante bedeutet. Bei Kontaktschluß ist $K_2 = K_1 = \text{const.}$ Demnach gilt

$$\mathfrak{H}_l = \frac{K_1}{c \cdot J} = C \cdot \frac{1}{J} . \qquad 2)$$

Digitized by Google

Das wirksame Feld ist also dem Strom J umgekehrt proportional, dies gestattet, auf einer entsprechend geteilten Amperemeterskala die direkte Ablesung der Feldstärke $\mathfrak{H}_l$ am Instrument ohne jede Rechnung.

Um die Richtung von $\mathfrak{H}_l$ eindeutig festzulegen, wird der Leiter als Band ausgebildet, dann kann er sich im wesentlichen nur in einer Ebene durchbiegen und somit auch nur die senkrecht auf dieser Ebene stehende Komponente $\mathfrak{H}_l$ des magnetischen Feldes $\mathfrak{H}$ anzeigen.

Durch die Ausführung der Messung in drei verschiedenen Lagen läßt sich daher die Richtung der Feldlinien im Raume in einfacher Weise bestimmen.

Konstruktive Fragen.

Es fragt sich nun, welche Faktoren für den Meßbereich des Apparates, seine Meßgenauigkeit und Störungsfreiheit fremden Einflüssen gegenüber von Bedeutung sind.

Der wichtigste Konstruktionsteil ist das Band l. Sowohl Material wie Formgebung sind bei ihm von großer Bedeutung. Das Band muß einmal ohne übermäßige Erwärmung eine hohe Stromstärke vertragen, damit auch schwache Felder noch gemessen werden können (s. Gl. 2). Der spezifische Widerstand des Materials muß also klein sein. Ferner muß es sich leicht durchbiegen lassen, damit ein möglichst großer Teil der Kraft K_1 noch zur Deformation der Federn f übrig bleibt. Das läßt sich einmal durch die Wahl eines hinreichend weichen Leitermaterials erreichen und weiter eines Bandquerschnitts, der der Durchbiegung nur geringen Widerstand entgegensetzt. Endlich muß noch der Einfluß der Schwerkraft, die ja gleichfalls auf das Band wirkt, möglichst verkleinert werden, d. h. das spezifische Gewicht des Leitermaterials soll möglichst gering sein. In der folgenden Tabelle sind einige Stoffe mit den in Frage kommenden Materialkonstanten zusammengestellt.

Tabelle.

Material	Spez. Widerstand $\varrho \cdot 10^7$	Spez. Gewicht γ	Elastizitätsmod. E $\frac{kg}{mm^2}$
Silber	16	10,5	7500
Kupfer	17	8,9	~ 11500
Aluminium . . ,	29	2,7	~ 6800
Gold	23	19,2	~ 7800

Das Band muß ferner eine genügende Festigkeit haben und sich möglichst auch als Kontaktmaterial benutzen lassen.

Berücksichtigt man diese beiden Punkte, so erscheint Silber am zweckmäßigsten, immerhin könnten auch Versuche mit Aluminium Aussicht auf Erfolg haben, dessen geringes spezifisches Gewicht und größere Weichheit vorteilhaft sind.

Als nächstes ist jetzt der Einfluß der Leiterform zu untersuchen. Ganz allgemein läßt sich sagen, daß der Leiter möglichst dünn sein soll, damit er im Verhältnis zu seinem Volumen eine große Oberfläche erhält, denn das ermöglicht wegen der günstigen Abkühlung die Anwendung hoher Stromdichten und damit die Messung auch schwacher Felder. Hier zeigt sich ein weiterer Vorteil des bandförmigen Querschnittes gegenüber dem runden, er strahlt die Stromwärme viel besser aus und bleibt daher kühler. Man geht zweckmäßig mit der Banddicke so weit herunter, wie es das Material erlaubt, damit erreicht man noch den Vorteil, daß das Widerstandsmoment des Bandes gegen Verbiegung sehr klein wird. Dagegen zeigt eine einfache Über-


Digitized by Google

legung, daß die Breite des Bandes in weiten Grenzen ohne Belang bleibt, man wählt sie daher so, wie es für die Herstellung am bequemsten ist.

Je geringer die Durchbiegung h ist, umso empfindlicher wird der Apparat. Es empfiehlt sich daher, durch die Schrauben s (Fig. 1) den Federn f eine schwache Vorspannung zu geben. Dann kann die Durchbiegung h klein bleiben, ohne die Genauigkeit des Apparates zu beeinträchtigen.

Für das Arbeiten des Apparates von ausschlaggebender Bedeutung ist der Kontaktschluß. Die durch geeigneten Bau von Band und Federn erreichte Ausbiegung des Leiters im magnetischen Feld muß durch den Kontakt sicher angezeigt werden. Hierzu genügt es keineswegs, daß sich Band und Kontaktspitze berühren, sondern es muß auch ein nicht unerheblicher Flächendruck auf die Kontaktstelle ausgeübt werden. Es zeigte sich, daß man mit der verfügbaren Kraft nicht zum Ziele kam, auch nicht, wenn die Kontaktspitze sehr fein gemacht wurde. Das Ansprechen eines zunächst einfach an die Kontakte und ein Bandende angeschlossenen Galvanometers blieb sehr unsicher. Deshalb wird am besten auf einen mechanischen Kontaktschluß überhaupt verzichtet und statt dessen ein elektrischer Überschlag benutzt, der erfolgt, wenn sich Band und Spitze außerordentlich genähert haben. Die erforderliche hohe Spannung ist sehr einfach mit einem kleinen Induktorium zu erreichen. Verwendet man diesen Kunstgriff, und nimmt dazu noch feine Kontaktspitzen, so erfolgt ein sehr sicheres Ansprechen des Telephons. Wünscht man eine objektive Beobachtung, so kann man auch das in einfacher Weise — z. B. durch ein Galvanometer mit vorgeschaltetem Detektor — erreichen.

Zwei Fehlerquellen könnten die Angaben des Apparates fälschen, Temperatur und Schwerkraft. Bei dem Einfluß der Temperatur ist zweierlei zu unterscheiden. Erstens wird der Leiter durch die in ihm entstehende Stromwärme geheizt und dehnt sich daher aus. Aber nur bei der Messung ganz schwacher Felder wird wegen der großen Stromdichte die Erwärmung merklich. Der Einfluß kann zudem durch eine Eichkurve bestimmt werden, so daß sich ein Meßfehler vermeiden läßt. Zweitens kann der ganze Apparat von außen erwärmt werden. Diese Erwärmung braucht (z. B. bei Messungen an elektrischen Maschinen) durchaus nicht klein zu sein. Der Fehler, der dann durch die Dehnung des Meßbandes entsteht, läßt sich in einfacher Weise dadurch kompensieren, daß man die Federn an einer sich gleichfalls ausdehnenden Platte befestigt.

Fig. 2. Eichkurve, aufgenommen in einer Spule von bekanntem Mganetfeld.

Der Einfluß der Schwerkraft tritt nur dann merklich auf, wenn sie sich direkt zu der elektrodynamischen Kraft addiert, d. h. wenn der Leiter nach oben oder unten durchgebogen wird. Dieser Fehler läßt sich aber durch Kommutierung des Meßstromes und Mittelnehmen aus den dabei erhaltenen beiden Werten beseitigen, da das Band dabei einmal nach oben und dann nach unten durchgebogen wird, sich die Schwerkraft also im ersten Fall von der elektrodynamischen Kraft subtrahiert und im zweiten zu ihr addiert.

Digitized by Google

Gegen äußere Stöße ist das Instrument nicht sehr empfindlich, da das System sehr leicht ist. Trotzdem empfiehlt sich natürlich eine Konstruktion, durch die eine zu große Ausbiegung von Band und Federn z. B. durch Anschläge verhindert wird.

Beschreibung eines Modells und der mit ihm ausgeführten Messungen.

Nach den im Vorstehenden beschriebenen Grundsätzen wurde ein Modell des Apparates gebaut. Auf besonders kleine Form und restlose Ausnutzung aller Mög-

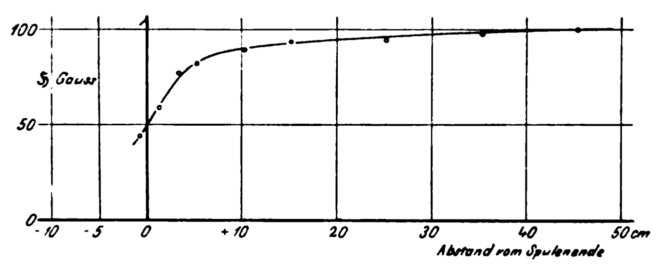
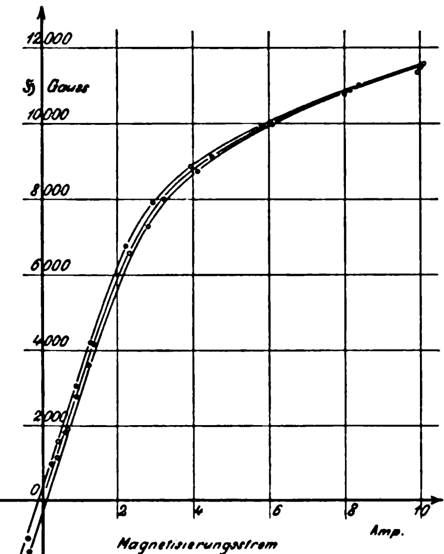


Fig. 3. Verteilung des Magnetfeldes am Ende einer langen Spule.

lichkeiten wurde dabei bewußt verzichtet, da es zunächst nur darauf ankam, die Wirkungsweise der Anordnung zu studieren.

Als Leiter diente ein Silberband von 0,01 mm Dicke, 1 mm Breite und 50 mm Länge, das an zwei Kupferfeld-Federn von etwa gleicher Breite, 0,05 mm Dicke und etwa 20 mm Länge befestigt war. Der Kontakt bestand aus einer vergoldeten Nadelspitze, die durch eine Schraube dem Bande mehr oder weniger genähert werden konnte. Das Ganze war auf einer Fiberplatte montiert.

Die Eichung des Apparates erfolgte im Innern einer langen Spule (Durchmesser 12 cm, Länge 120 cm) durch Vergleich des Magnetisierungsstromes mit dem Meßbandstrom J.



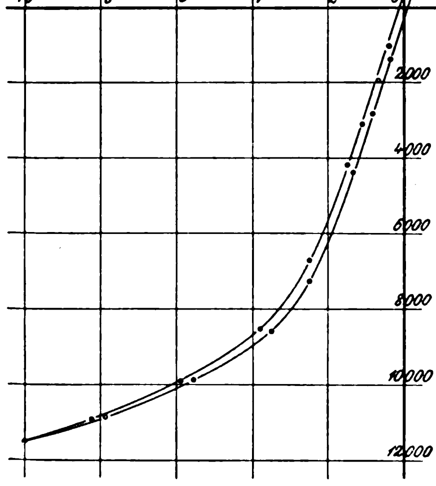


Fig. 4a. Feld im Luftspalt eines Halbringmagneten.

Trägt man den reziproken Wert $\frac{1}{J}$ als Funktion der aus dem Magnetisierungsstrom und der Spulenkonstante bestimmten Feldstärke $\mathfrak{H}$ auf, so ergibt sich Fig. 2. Die Eichpunkte weichen im unteren Teil etwas von der theoretischen Geraden ab, das beruht auf dem Einfluß der Stromwärme, die bei dem vorliegenden Bande bei

Digitized by Google

einer Belastung von 100 Amp./mm² an bemerkbar wird. Anschließend wurde dann der Feldverlauf am Ende der Spule bestimmt. Das Feld im Innern betrug 100 Gauß. Der entsprechende Meßbandstrom gab den Eichpunkt für den Apparat. Fig. 3, zeigt das Ergebnis. Bemerkenswert ist die gute Übereinstimmung der experimentell gefundenen Kurve an der Spulenmündung mit dem von der Theorie verlangten Wert dort soll das Feld auf die Hälfte seiner Stärke herabgesunken sein, was dem gefundenen Werte genau entspricht.

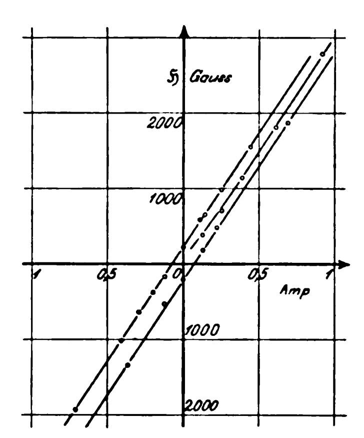


Fig. 4b. Feld im Luftspalt eines Halbringmagneten. Mitte vergrößert.

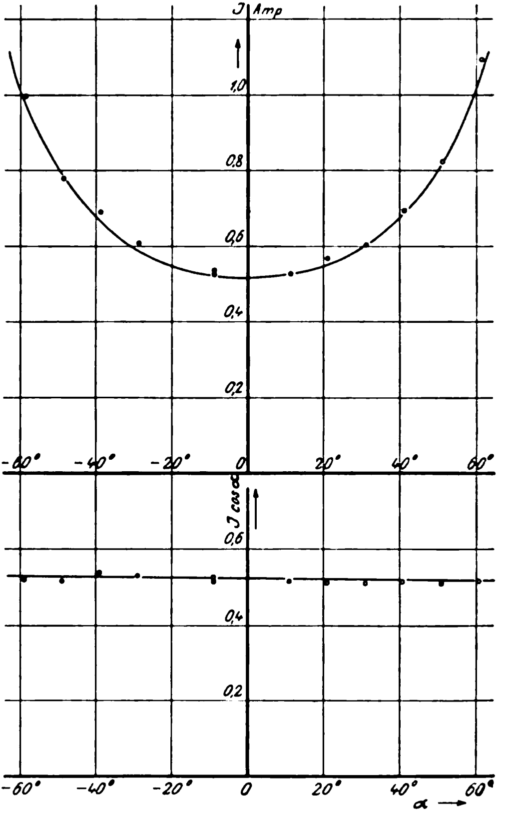


Fig. 5. Messung der Komponenten eines konstanten Magnetfeldes.

Um das Verhalten des Apparates bei größeren Feldstärken zu prüfen, wurde er in den etwa 10 mm breiten Luftspalt eines vorher möglichst weitgehend entmagnetisierten Halbringmagneten gebracht und die Abhängigkeit der Feldstärke im Luftspalt von dem Magnetisierungsstrom bestimmt. Bei dem stärksten Strom wurde mit einer geeichten Wismutspirale die zugehörige Feldstärke zu 11500 Gauß bestimmt und der Apparat auf diese Weise geeicht. In Fig. 4a und b sind die Meßpunkte zusammen gestellt. Sie ergeben die erwartete Kurve von der Form einer Hysteresisschleife. Die Genauigkeit ist besonders aus dem vergrößert herausgezeichneten mittleren Gebiet ersichtlich.

Zum Schluß sollte noch geprüft werden, wie weit die gewählte Anordnung auch für die Messung von Komponenten der Feldstärke zuverlässig zu verwenden ist. Der Apparat wurde daher in einer langen Spule mit dem bekannten homogenen Feld von 100 Gauß so gedreht, daß die Bewegungsrichtung des Bandes mit der Richtung der Feldlinien verschiedene Winkel bildete. In einer Reihe von Stellungen wurde dann der Meßbandstrom J gemessen, der zum Kontaktschluß nötig war. Diesen Strom in Abhängigkeit vom Neigungswinkel α zeigt Fig. 5. Bildet man $J \cdot \cos \alpha$, so erhält man einen konstanten Wert, wie es auch die theoretische Betrachtung verlangt.

Digitized by Google

Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Apparat beschrieben, der die Einwirkung eines magnetischen Feldes auf einen biegsamen stromführenden Leiter zur Messung dieses Feldes benutzt. Nach der Erörterung der bei der Konstruktion zu beachtenden Gesichtspunkte folgt die Beschreibung eines Modells sowie der mit ihm ausgeführten Untersuchungen magnetischer Felder. Die Ergebnisse zeigen, daß eine recht genaue Messung auch sehr schwacher Felder bis herab zu etwa 10 Gauß nach Größe und Richtung mit einfachen Mitteln durchgeführt werden kann.

Mikrometer und Meßapparate II.

Von

Dr. **P. Duckert** in Lichterfelde.

(Mitteilung aus den Askaniawerken A.-G. in Berlin-Friedenau.)

(Fortsetzung von S. 453.)

II. Registriermikrometer.

Wesentlich für die Weiterentwicklung der Meßkunst und die Verfeinerung der Beobachtungsmethoden war die Einführung der sogenannten Registriermikrometer Die Verbesserung tritt in besonders günstiger Weise in den Vordergrund, wenn das Mikrometer zur Vermessung eines bewegten Bildes verwendet werden soll, also etwa die Durchgänge von Gestirnsbildern durch das Gesichtsfeld und die Fadenebene eines großen Astromikrometers der Vermessung unterzogen werden sollen. Die zu überwindende Ungenauigkeit bei derartigen Messungen ist die Zeitspanne, die der Beobachter benötigt, um den mit dem Auge wahrgenommenen Moment des Verschwindens des Objektes hinter dem als Marke dienenden Spinnwebfaden, der übrigens noch durch Kontrasteffekte stark entstellt sein kann, auf ein anderes Sinnesorgan zu übertragen, sei es durch die Auslösung eines Signals auf einem Chronographen, sei es durch Fixierung mittels der Auge-Ohr-Methode. So genau auch ein geübter Beobachter diese Fehlerquellen erfassen kann, um sie bei der Reduktion der Beobachtungen zu berücksichtigen, so ist und bleibt es doch ein Notbehelf. Der erste und einfachste Versuch, diesen Fehler auf ein Minimum zu reduzieren ist wohl die Schaffung einer einfachen Einrichtung, um die Kontaktzeiten des Gestirns mit den Fäden auf elektrischem Wege auf einen Chronographen zu registrieren. Ein derartiges Registriermikrometer zeigt uns Fig. 11. Direkt mit der Meßschraube ist eine Achattrommel mit eingelassenen Platin-Iridiumstreifen gekoppelt. Auf dieser Trommel schleifen mit leichtem aber hinreichendem Druck zwei Arme, die vollkommen gleich stark mit ihren weichen Platinnasen aufliegen und die Registrierung bewirken. Die Beobachtung beschränkt sich dann

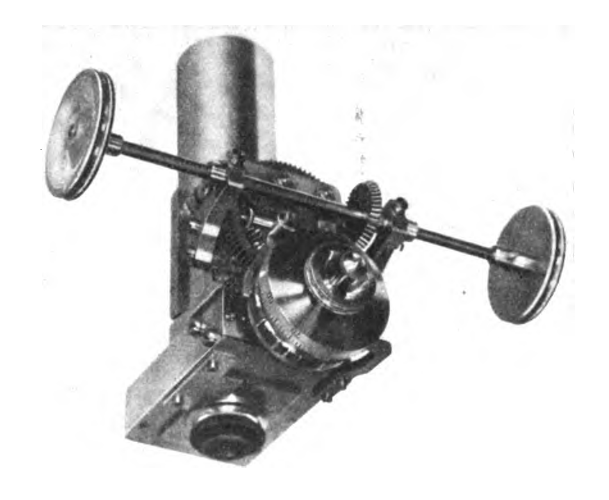


Fig. 11. Registrier-Mikrometer.

Digitized by Google

darauf, daß der Beobachter mit dem beweglichen Faden des Instrumentes versucht, stets dem Sterne so zu folgen, daß derselbe vom Faden biseziert wird.

Fig. 12. Großes Passage-Instrument. Objektiv-Durchmesser 190 mm, Brennweite 2500 mm.

1 Kubischer Mittelkörper mit den vier Fortsätzen für Fernrohr und Achse.
2 Objektivkopf.
3 Okularkopf mit unpersönlichem Mikrometer.
4 Elektr. Antrieb für das unpersönl. Mikrometer.
5 Deklinationskreis.
6/7 Ablesung in Deklination.
8 Klemmung und Feinstellung in Deklination.
9/10 Handräder für Einstellung in Deklination.
11 Aufsatzniveau.
12/13 Konsole für die Zapfenlager.
14/15 Entlastungs- und Umlegevorrichtung.
16 Beobachtungsstuhl.
17 Betätigungsschlüssel.

Die Schraube wird also mit gleichmäßiger Geschwindigkeit gedreht und bewirkt durch diese Drehung mittels der Kontaktscheibe die Registrierung auf einen Chrono-


Digitized by Google

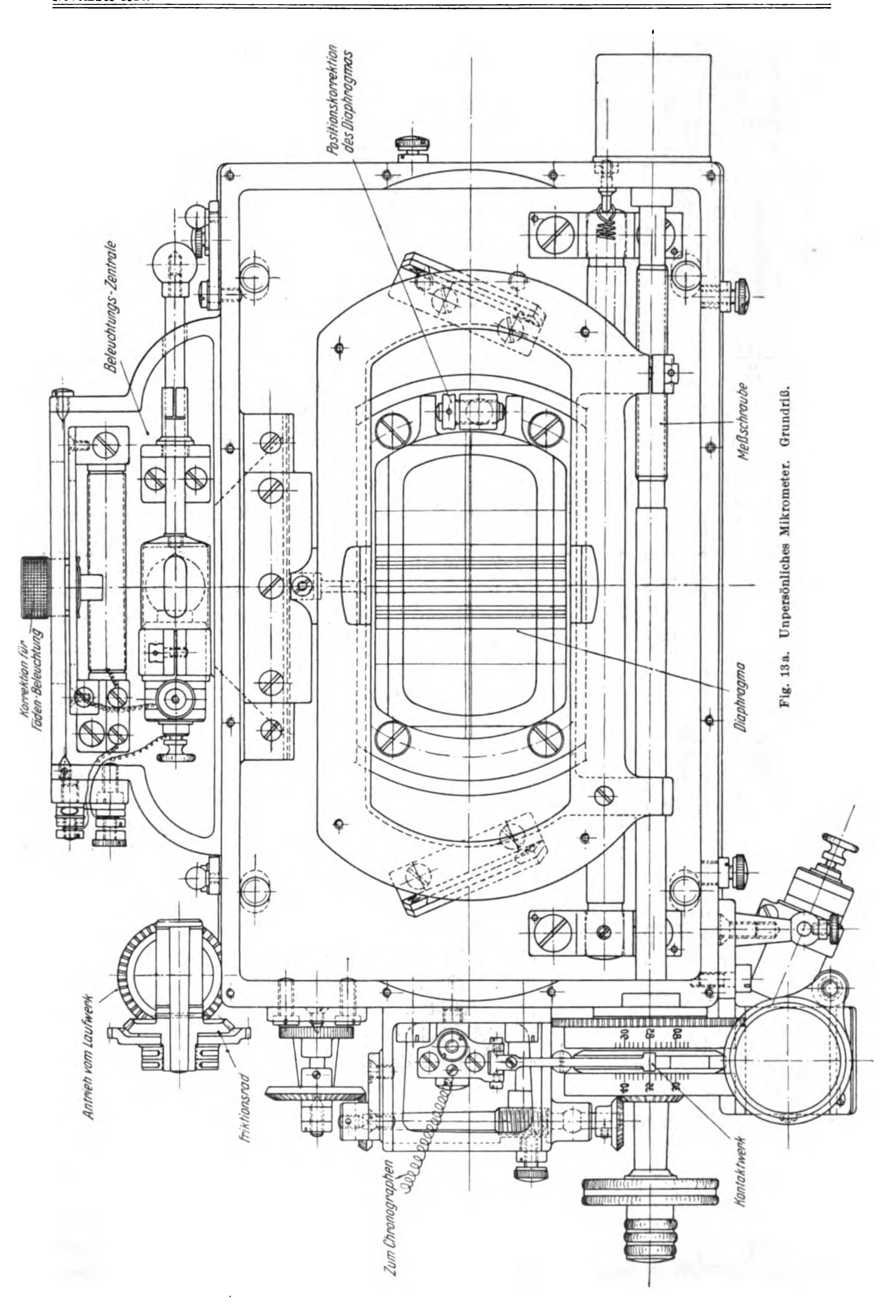


Fig. 13a. Unpersönliches Mikrometer. Grundriß.

Digitized by Google

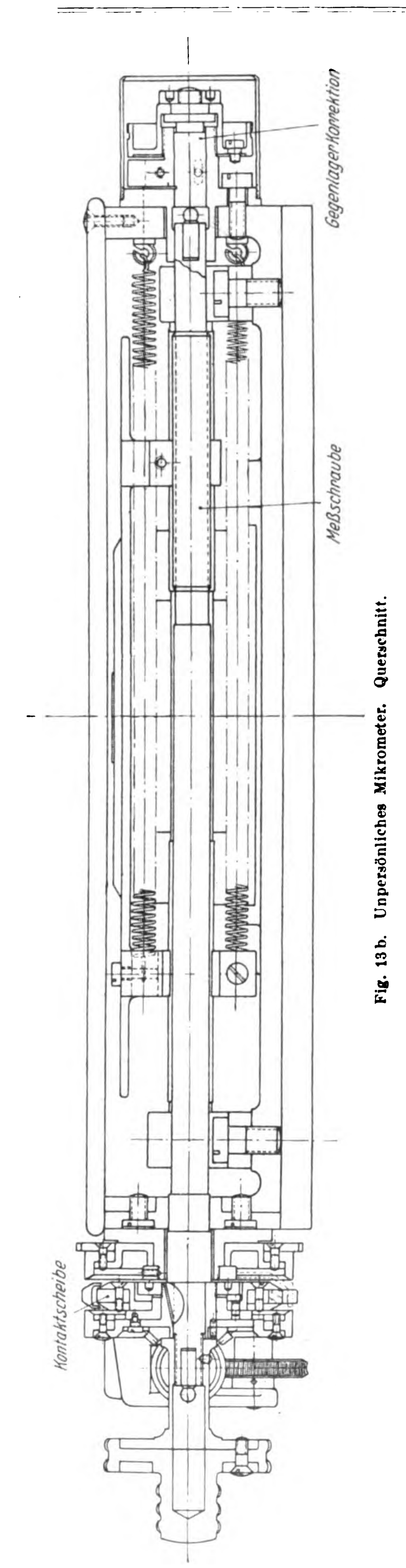


Fig. 13 b. Unpersönliches Mikrometer. Querschnitt.

graphen. Zur leichteren Durchführung dieser Drehung, die ja, um keine Fehler zu verursachen, sehr gleichmäßig sein muß, ist mittels einer Kegelradübertragung eine Triebstange mit zwei Kordeln mit der Meßschraube gekoppelt, so daß der Beobachter beide Hände zur kontinuierlichen Nachführung derselben verwenden kann. Die in der Figur dargestellte Ausführung ist die jetzt feststehende Norm für kleine Passage- und Universalinstrumente der Askaniawerke A.-G. Wenngleich diese Mikrometerform immer noch nicht ideal ist und von systematischen und persönlichen Fehlern etwas getrübte Resultate liefern kann, so stellt sie doch einen wesentlichen Fortschritt dar. Einen Vorteil besitzt sie noch, daß nämlich an die Meßschraube selbst in bezug auf periodische Fehler, soweit die Periode mit einer Schraubenumdrehung identisch ist, keine allzu hohe Anforderung gestellt zu werden braucht, wenngleich es ja ebenso leicht ist, eine Schraube ohne solche Fehler herzustellen. Über die möglichen Fehler vgl. den demnächst in den *Astron. Nachr.* erscheinenden Artikel vom Verfasser über „Vergleichende Mikrometermessungen", auf den hier kurz verwiesen sei.

Eine weitere ganz erhebliche Verbesserung in der astronomischen Meßkunst bildet die Einführung der unpersönlichen Mikrometer mit elektrischem Antrieb. Diese Apparatur wird von den Askaniawerken A.-G. zunächst nur für größere ortsfeste Passageinstrumente ausgeführt, soll aber demnächst auch für kleinere transportable Instrumente hergestellt werden. Im folgenden will ich das letzte derart hergestellte Instrument für ortsfeste Montierung für ein Passageinstrument mit zirka 2,5 m Brennweite in allen Einzelheiten beschreiben. Das Wesen einer solchen Einrichtung sei nur kurz vorweggenommen. Durch den vorgesehenen elektrischen Antrieb soll bewirkt werden, daß der bewegliche Faden mi möglichst hoher Übereinstimmung schon von sich aus ohne Eingriff des Beobachters den Stern ständig halbiert, so daß der Astronom nur noch kleine Korrektionen anzubringen hat. Fig. 12 zeigt zunächst ein komplettes Passageinstrument mit 190 mm Objektivöffnung und 2,5 mm Brennweite mit einer ähnlichen älteren, aber im Prinzip gleichen Einrichtung.

Das Instrumentarium zerfällt, wie schon in dieser Abbildung ersichtlich, in zwei voneinander ziemlich unabhängige Teile, die hier auch nacheinander besprochen

Digitized by Google

werden sollen. Zunächst wollen wir unsere Aufmerksamkeit dem Mikrometer zuwenden. Die Figuren 13a, b, c gestatten sehr gut schematisch einen Überblick über den gesamten Mechanismus zu gewinnen. Wir sehen dort die Seele des Instrumentes, die Mikrometerschraube, in ihrer Lagerung genau nach den Grundsätzen, die im ersten

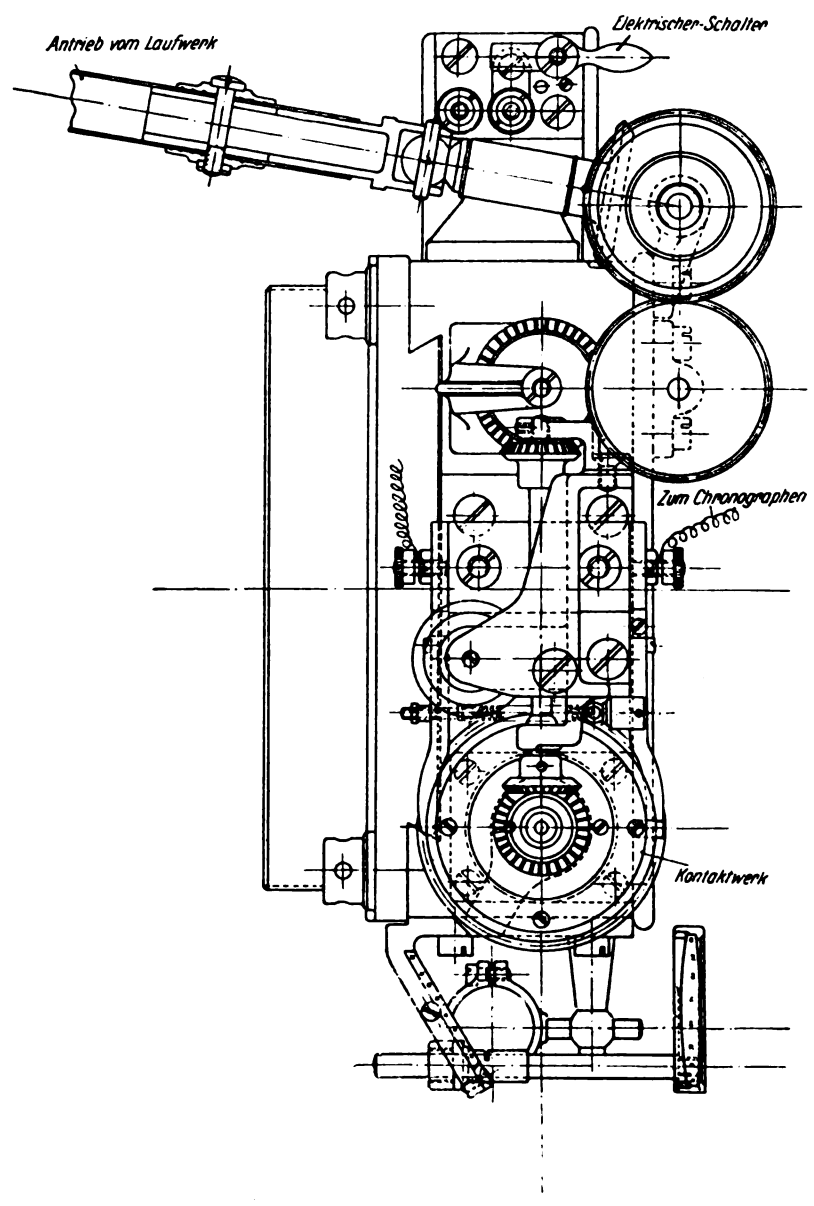


Fig. 13c. Unpersönliches Mikrometer. Seitenansicht.

Teil als maßgebend hervorgehoben waren. Die beweglichen Teile sind in möglichster Gedrängtheit beieinander gelegen, um ein Verspannen und Würgen vollständig auszuschließen. Alle Einzelteile sind sinngemäß mit dem Verwendungszweck angepaßten mehr oder weniger vollkommenen Korrektionsmöglichkeiten versehen. Die wesentlichsten, an anderer Stelle bereits hervorgehobenen, sind die Korrektion des Gegenlagers der Meßschraube und die Verschiebungsmöglichkeit des gesamten Mikrometers gegen den Instrumentenflansch. Hinzu kommt nun noch eine in Fig. 13a sichtbare

Digitized by Google

Positionskorrektion für das Diaphragma. Direkt auf der Meßschraube sitzt wieder eine Achatscheibe, in die kurze und längere Platiniridium-Streifen eingelegt sind, die dann wieder mit den ebenfalls sichtbaren Armen mit weichen Platinnasen als Kontaktorgane Verwendung finden. In der Hauptgebrauchslage vom Beobachter aus oben gelegen, findet sich die Zentralstelle für die elektrische Beleuchtungseinrichtung des Instrumentes. Neben verschiedenen Umschaltern findet sich dort auch ein größerer Widerstand. Durch diese Kombination, der gewöhnlich auch noch eine in den Strahlengang einschaltbare Rotscheibe beigegeben ist, kann man sich die verschiedenen wichtigen Beleuchtungsarten, wie sie an anderer Stelle ebenfalls schon hervorgehoben sind in beliebiger Stärke herstellen. Die Rotscheibe hat hauptsächlich den Zweck, das Gesichtsfeld des Fernrohrs gedämpft zu beleuchten. Es hat sich hier bei empirischen Versuchen herausgestellt, daß gerade ein Eosinrot das geeignetste Dämpfungsorgan ist, da es infolge eines bekannten Kontrasteffektes in der Lage ist, das Gesichtsfeld hinreichend zu beleuchten und hierbei selbst Sterne von schwächerer Helligkeit als im einfach gedämpften Gesichtsfeld noch sichtbar werden zu lassen, ohne daß Überstrahlung eintritt. Von den verschiedenen Beleuchtungsarten werden hier hauptsächich ermöglicht: die Feldbeleuchtung und die direkte und indirekte Fadenbeleuchtung.

Einige Schwierigkeiten bereitet es, eine absolut sichere Verbindung vom Laufwerk des Antriebes aus bis zur Meßschraube herzustellen, die es gestattet, daß neben der elektrischen selbsttätigen Bewegung der Schraube der Beobachter auch von Hand aus dieselbe betätigen kann, ohne das elektrische Getriebe irgendwie zu beeinflussen. In unserem Falle wird der Einfluß des elektrischen Antriebes über zwei nur durch Friktion gekuppelte Zahnräder bewirkt, für weitere Ausführungen kann meines Erachtens hier auch ein kleines Planetengetriebe Verwendung finden, allerdings wird an die Präzision desselben bei den relativ kleinen zur Verfügung stehenden Kräften ziemlich hohe Anforderung gestellt. Die weitere Ausführung der Übertragung ist für die Beobachtung ziemlich belanglos, sie soll daher hier auch übergangen werden. Bemerkt sei nur noch, daß das Instrument selbstverständlich auch so eingerichtet ist, daß bei plötzlichem Versagen der elektrischen Registriereinrichtung die Messungen auch wie bei einem gewöhnlichem Mikrometer durch einfaches Vermessen weitergeführt werden können. Zu diesem Zweck ist dasselbe sonst genau wie ein solches mit geteilter Meß- und Zähltrommel ausgerüstet.

Der zweite wesentliche Teil beim Mikrometer mit selbsttätigem Antrieb wird durch den elektrischen Antriebsmechanismus gebildet. Hier gibt Fig. 14 eine umfassende Veranschaulichung. Der außerordentlich umständliche Mechanismus wird durch den äußerst großen Bereich erforderlich, innerhalb dessen die Geschwindigkeit der Mikrometerschraube regulierbar sein muß. Nehmen wir etwa an, das Mikrometer sollte gleich gut für einen Stern, der nahe am Äquator steht, also der die Deklination $\delta = 0^0$ besitzt, wie auch für ein Gestirn nahe dem Himmelspol, wo also $\delta = 90^0$ wird verwendet werden können; und nehmen wir eine Steigung der Mikrometerschraube von 0,5 mm an, sowie eine Brennweite des Fernrohrobjektives von 2500 mm, so wird eine Variation der Geschwindigkeiten von

ca.	2,75 sec	pro Umdrehung der Meßschraube bei	$\delta = 0^0$
bis „	156	„ „ „ „ „ „	$\delta = 89^0$

notwendig. Ein noch weiteres Höhertreiben der Deklination steigert die Werte ins Unermeßliche, da bei ihrer Bestimmung der Wert sec δ als Faktor auftritt. Wenn nun auch praktisch dieses Extrem nie erreicht werden wird, da dann die Methode


Digitized by Google

viel zu ungenau wird, so sieht man doch, daß etwa pro Umdrehung der Meßschraube eine Revolutionszeit von 2,5 bis 150 sec hier verlangt werden muß, damit ein hinreichend großer Spielraum vorhanden ist.

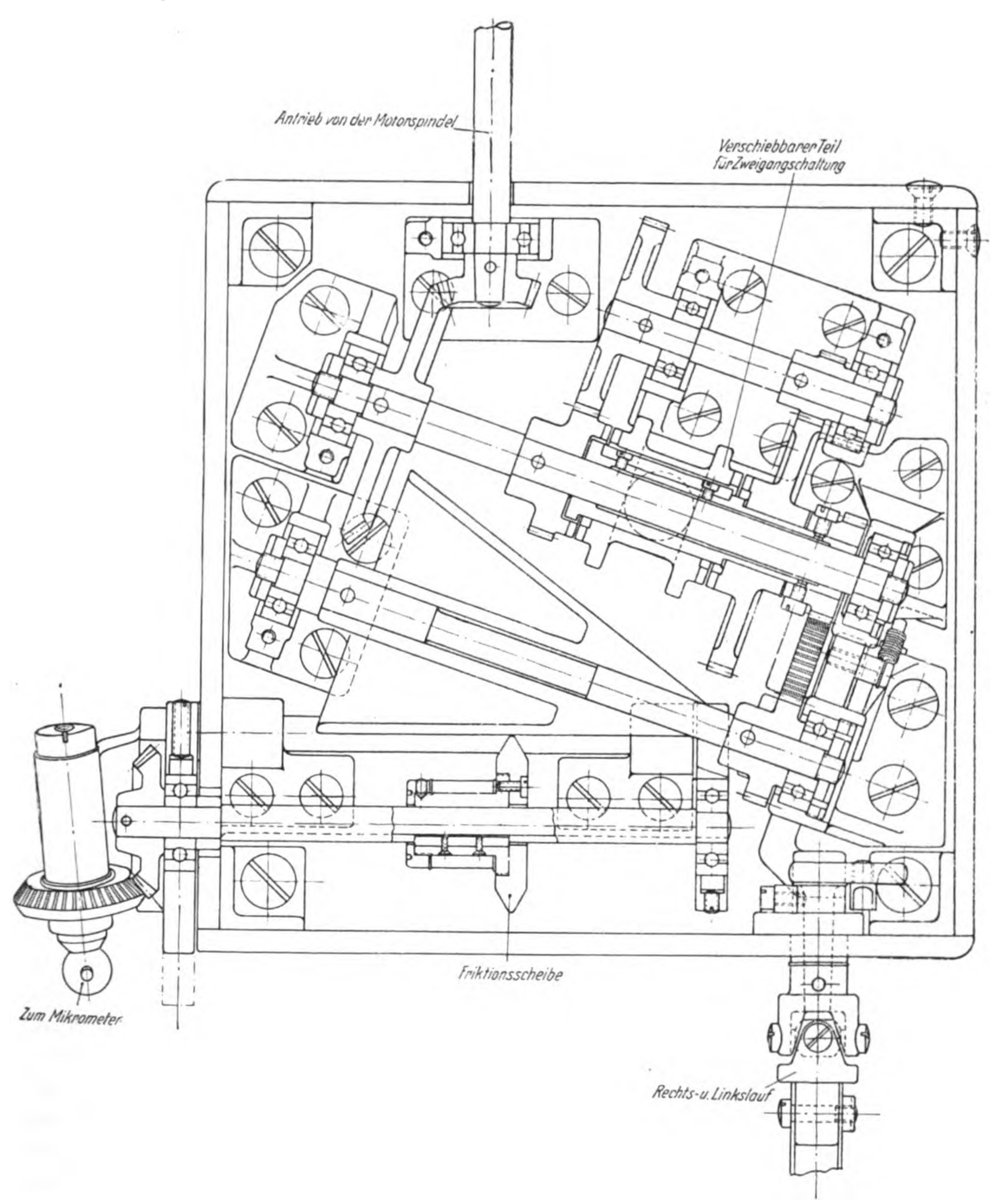


Fig. 14. Regulierwerk zum elektrischen Antrieb.

Für die Herstellung einer Grundgeschwindigkeit ist ein kleiner Motor vorgesehen, der mit verhältnismäßig kleinem Energieverbrauch eine große Umdrehungszahl hergibt. Zu seiner Betätigung sind bei einer Spannung von 12 Volt ca. 30 Watt erforderlich. Die Umdrehungen der Motorachse werden durch einen Zentrifugalregulator möglichst gleichmäßig gemacht und dann, durch Vermittlung einer endlosen Schraube

Digitized by Google

in ihrer Anzahl erheblich reduziert, dem eigentlichen Regulierwerk zugeführt. In diesem ist zunächst ein einfaches Zahnradgetriebe eingeschaltet, welches den doppelten

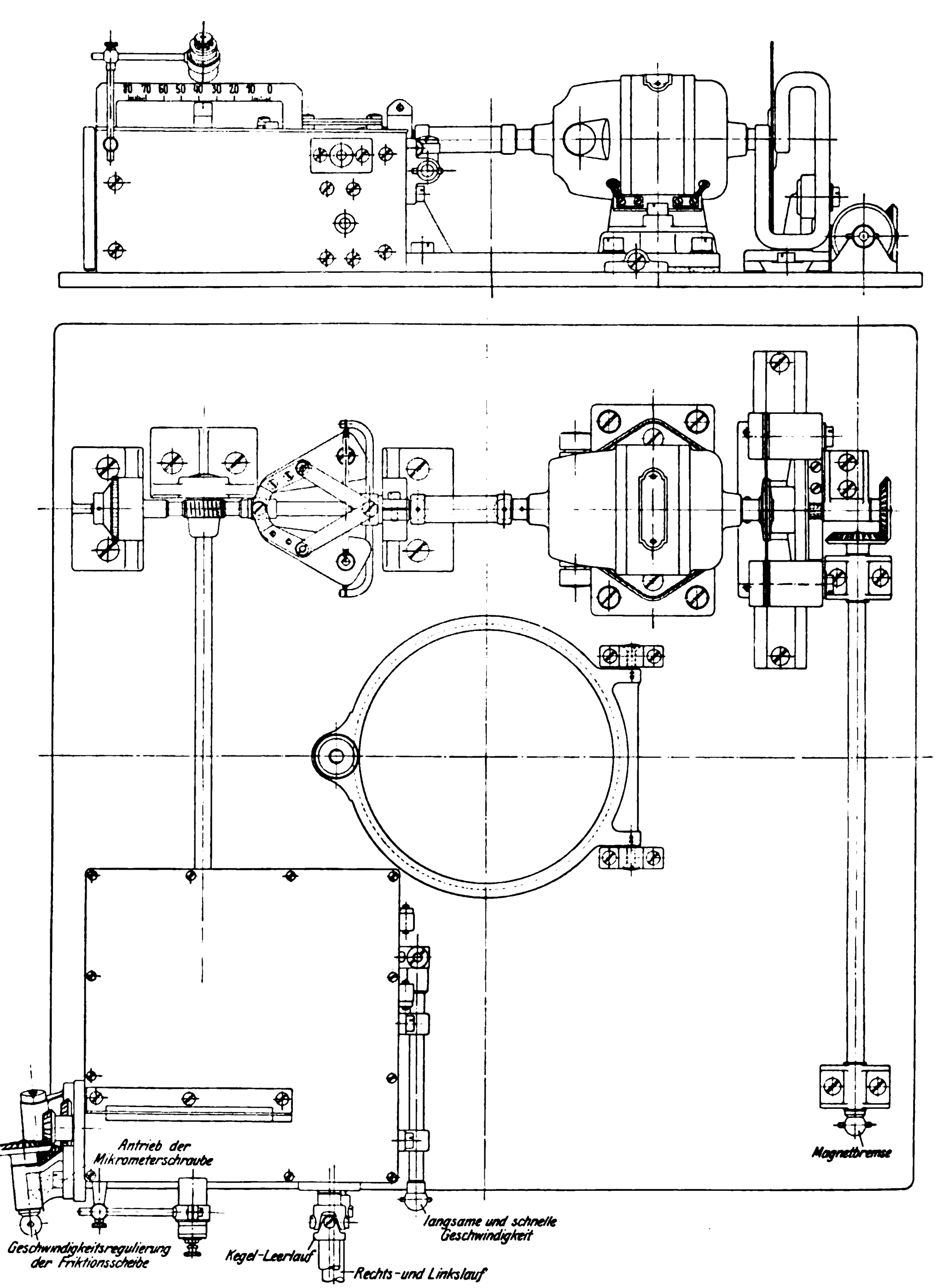


Fig. 15. Gesamtbild des elektrischen Antriebsmechanismus.

Zweck verfolgt, einmal durch einfachen Umschalter zwei neue Fundamentalgeschwindigkeiten einzuführen, da sonst der abzudrosselnde Bereich zu groß werden würde, und zweitens durch zwei gegenläufige Zahnräder Vor- und Rücklauf der Mikrometer-

Digitized by Google

schraube zu ermöglichen. Jeweils eins dieser beiden letztgenannten Elemente bringt dann einen ziemlich großen Kegel zur Rotation, auf dessen Mantel eine Friktionsscheibe zwecks weitgehendster Geschwindigkeitsregulierung hin- und herbewegt werden kann. Die Achse der Friktionsscheibe endlich wird, nachdem sie noch einmal gebrochen ist, dazu benutzt, das Mikrometerwerk mittels Gestänge anzutreiben. Die Möglichkeit, den Kegel leer laufen zu lassen, gestattet es, daß mit ziemlicher Schnelligkeit von einer Geschwindigkeit zu irgend einer anderen übergegangen werden kann, ohne eins der Zwischenelemente zu beschädigen. Dieser schnelle Übergang erweist sich gerade bei Passageinstrumentbeobachtungen sehr oft als notwendig.

Da zu einem kontinuierlichen Beherrschen aller oben geforderten Geschwindigkeitsbereiche die Abdrosselung im Regulierwerk allein nicht genügt, mußten noch einige andere Drosselungseinrichtungen eingebaut werden. Dies sind ein großer Motorwiderstand und eine kräftige Magnetbremse, die aus einer rotierenden Aluminiumscheibe zwischen zwei vom Okularende aus verschiebbaren Magneten besteht.

Diese kurz beschriebenen Einzelelemente sind zur Erhöhung der Bequemlichkeit soweit möglich mit Einstellskalen versehen, alle haben aber lange bis zum Mikrometer hindurchgehende Gestänge, so daß der Beobachter seinen Platz während der ganzen Beobachtungszeit nicht zu verlassen braucht. Zur genaueren Orientierung möge noch die Grundrißskizze des gesamten Antriebes mit Fig. 15 beigegeben werden. Diese ganze Einrichtung ist an der indifferentesten Stelle des Instrumentes, nämlich auf dem Achswürfel untergebracht, um jegliche Art von Erschütterungs- und Instabilitätswirkungen auszuschalten.

Das Gesamtaussehen des Mikrometers mit den zugeführten Gestängen wird dann durch die beiden Figuren 16 und 17 veranschaulicht.

Das gesteckte Ziel einer fast selbsttätigen Registrierung der Sterndurchgänge ist damit erreicht. Zu jeder bestimmten Deklination des zu vermessenden Gestirns gehört eine bestimmte Einstellung der Drosseleinrichtungen, die es dann bewirkt, daß der Meßfaden dem Stern genau folgt. Da es nun aber so gut wie unmöglich ist, diese Stellung vorher mit äußerster Genauigkeit einzustellen, so ist die Bewegungs- bzw. Korrektionsmöglichkeit vorgesehen, die dem Beobachter den Eingriff gestattet. Zweckmäßig läßt man dann das Mikrometer eine Kleinigkeit schneller laufen, als das Sternbild es tut, und hemmt die Geschwindigkeit dann mittels der Meßschraube von Hand aus.

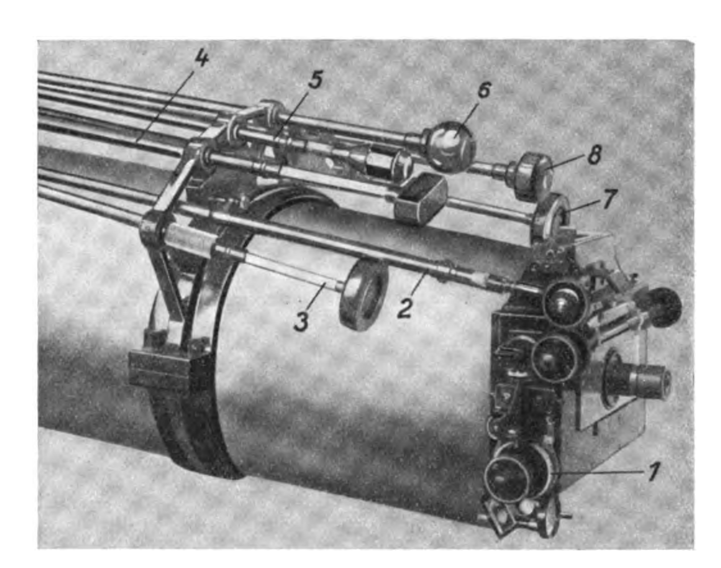


Fig. 16. Ansicht des Mikrometers für das unpersönliche Mikrometer mit elektrischem Antrieb.

1 Mikrometerspindel mit Kontaktwerk.
2 Antrieb vom Regulierwerk.
3 Regulierung der Kegelfriktionsscheibe.
4 Rechts- und Linkslauf.
5 Kegelleerlauf.
6 Umschalter für die Grundgeschwindigkeiten.
7 Gestänge für die Magnetbremse.
8 Gestänge für den Motorwiderstand.

Digitized by Google

Ein ganz idealer Zustand ist damit allerdings immer noch nicht gewonnen. Erst eine vollkommene Mechanisierung der Registrierung kann eine zufriedenstellende Lösung des Problems geben. Der erste Schritt hierzu ist durch die Kombination eines Photometers mit einem Meßgerät gegeben. Eine Möglichkeit, die ganz brauchbar zu sein scheint, stellen die vom Verfasser im Laboratorium der Askania-Werke A.-G. angestellten Versuche dar, die die Ausnutzung der photoelektrischen Zelle zu derartigen Meßzwecken zum Ziel haben. Die Anordnung ist denkbar einfach. Hinter

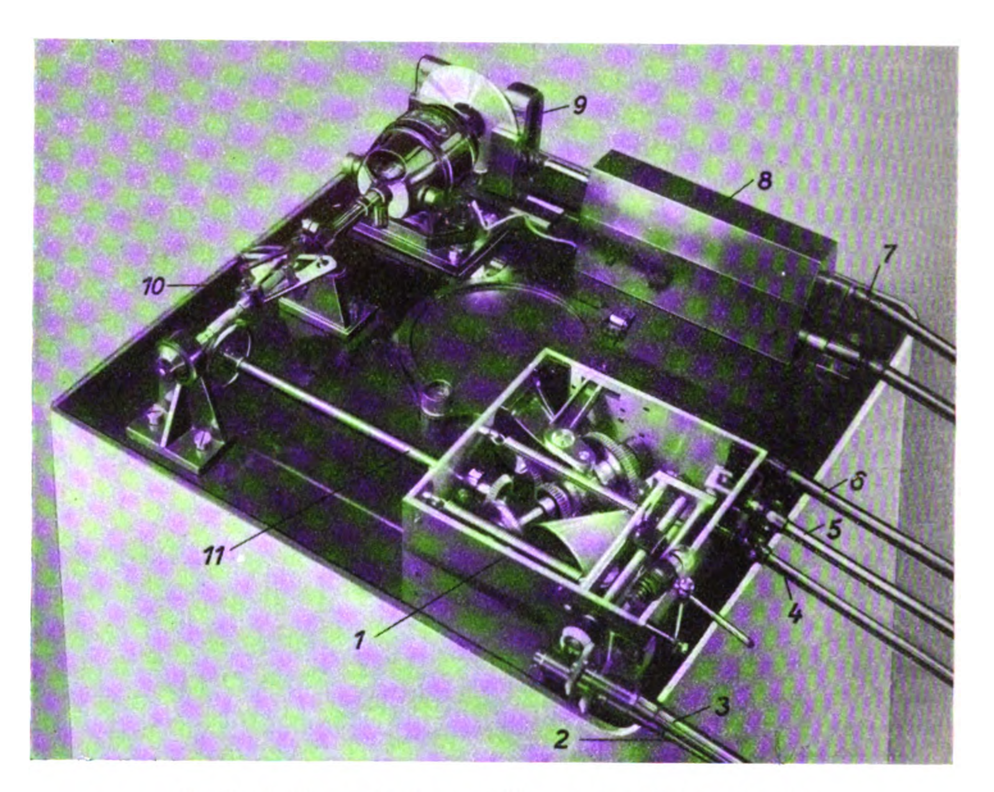


Fig. 17. Ansicht der Regulierungseinrichtungen des elektrischen Antriebs.

1 Regulierwerk.
2 Antrieb zum Mikrometer.
3 Regulierung der Kegelfriktionsscheibe.
4 Rechts- und Linkslauf.
5 Kegeleerlauf.
6 Umschalter für die Grundgeschwindigkeiten.
7 Gestänge für die Magnetbremse.
8 Motorwiderstand.
9 Magnetbremse.
10 Regulator.
11 Antriebsgestänge des Regulierwerkes vom Motor aus.

einem Fernrohr mit einer starken Marke im Gesichtsfeld ist eine Photozelle mit Elektrometer usw. angebracht. Verschwindet jetzt ein Gestirn hinter der Marke, so tritt eine Änderung im Photoeffekt ein, der durch das Elektrometer erkenntlich gemacht wird. Die Stärke dieses Effektes spielt eine ganz untergeordnete Rolle, da wir heute in der Kathodenröhre eine Möglichkeit besitzen, die entstehenden Photoströme äußerst weitgehend zu verstärken, so daß sie beispielsweise über ein Relais direkt einen Chronographen betätigen können. Ein besserer Weg, wenn auch wesentlich kostspieliger, wäre der, ähnlich wie beim selbstregistrierenden Mikrophotometer nach Koch-Goos, die Bewegung des Elektrometerfadens selbst zu registrieren. Man hätte dann die Möglichkeit, auch wenn eine große Anzahl von Gestirnen gleichzeitig im Gesichtsfeld ist, die Kontakte jedes einzelnen vermöge ihrer verschiedenen Helligkeit voneinander zu trennen, da ja der mit der Helligkeit innig verbundene Photoeffekt

Digitized by Google

dann einen stärkeren Ausschlag des Elektrometerfadens bewirken würde. Auch das Eintreten neuer Gestirne ins Gesichtsfeld würde dann nicht stören, sondern nur das Niveau der Nullage des Elektrometerfadens ändern. Die einzige ernste Schwierigkeit, die hierbei zu überwinden ist, ist die der Trägheit der Photozelle selbst. Von der verwendeten Zelle muß verlangt werden, daß sie entweder unbedingt trägheitslos ist, oder aber, daß durch geeignete Vorbelichtung die Empfindlichkeit für die Zeit der Beobachtung als konstant angesehen werden kann. Die Versuche haben bisher nur die sichere Gangbarkeit dieses Weges gezeigt und sehen der praktischen Auswertung entgegen. Ob das Verfahren, das selbstverständlich nur für ganz fundamentale Bestimmungen wegen seiner relativen Kostspieligkeit Verwendung finden soll, sich einbürgern kann, muß vorläufig dahingestellt bleiben, bis tatsächlich die Versuche mit einem Instrument, das nicht mehr im Versuchsstadium steht, vorliegen. Die Ergebnisse werden wir zu geeigneter Zeit veröffentlichen.

Mit Vorstehendem soll nicht etwa der Wert der Beobachtungen nach den älteren Methoden herabgesetzt, sondern nur ein Weg gezeigt werden, der auch hier noch Fortschritte bringen kann, da bei diesem Verfahren dann tatsächlich jeder persönliche Beobachtungseinfluß ausgeschaltet bleibt.

Neben diesen Arten von Registriermikrometern, die im wesentlichen für den Spezialzweck des astronomischen Fernrohrs geschaffen sind, Rektascensionsdifferenzen festzustellen, gibt es eine andere Art von registrierenden Mikrometern, die ihren Namen einer ganz andern Funktion verdanken. Sie sind zwar unmittelbar anwendbar aber sonst mit allen Fehlern und Nachteilen der gewöhnlichen Mikrometer behaftet. Es sind dies die Typendruckmikrometer. Wie im Namen schon zum Ausdruck kommt, haben wir es hier mit nichts weiter als einem mit Typendruckvorrichtung versehenen gewöhnlichen Mikrometer zu tun. Diese Einrichtung läßt sich natürlich an jedes Instrument anbringen, ohne seine Funktionen in sich zu verbessern. Der Vorteil der Einrichtung liegt in ganz anderer Richtung. Jedem Beobachter, der mit einem gewöhnlichen Positions- oder auch einem Deklinationsmikrometer gearbeitet hat, wird es schon aufgefallen sein, daß nichts so furchtbar ermüdet und damit die Genauigkeit der Beobachtungen beeinflußt, wie die dauernde Notwendigkeit in der an und für sich dunkelen Kuppel, das Auge, welches für schwache Lichteindrücke zur Beobachtung im Fernrohr empfindlich eingestellt sein soll, jetzt zu zwingen, die Kreise bzw. die Stellungen der Mikrometerschraube in relativ grellem Lichte abzulesen. Es ist nach einer gewissen Zeit so gut wie unmöglich, die Ablesungen fortzusetzen. Für derartige Zwecke ist es daher nur zu begrüßen, wenn nach der Einstellung mittels eines einfachen mechanischen Drucks das gesamte Beobachtungsergebnis noch dazu durch Schreibfehler unverfälscht festgehalten werden kann. Dem Wunsche nach diesem nicht zu verkennenden Vorteil sind diese Typendruckmikrometer entstanden. Besonders zu erwähnen ist unter den Spezialinstrumenten dieser Gattung eigentlich nur der Deklinograph von Knorre. Erwähnt sei noch, daß das erste vollkommene Typendruckwerk von der Firma Pistor-Martins angefertigt wurde, während jetzt mehr oder weniger bekannte mechanische Firmen ihre weit entwickelten Registrierwerke bauen. Auch wer hierüber sich genauer orientieren will, kann viel aus dem oben zitierten Artikel von Becker schöpfen. Ich will an dieser Stelle gleich hervorheben, daß diese Instrumentarien an Meßapparaten noch viel häufiger Verwendung finden, als gerade ausgesprochen an Mikrometern.

Leider sind alle Einrichtungen immer noch so spezialisiert, daß es ein Registriermikrometer, an dem alle Vorteile vereinigt sind, noch nicht gibt. Die als erste ge-


Digitized by Google

nannten unpersönlichen Mikrometer sind ja streng genommen auch sehr einseitig, insofern sie die Benutzung ihrer Einrichtung für die Messung von Deklinationsdifferenzen, also Strecken, die senkrecht zur täglichen Bewegungsrichtung der Gestirne liegen, nicht zulassen. Sie sind daher angebracht im Durchgangsinstrument, während der Meridiankreis schon mehr auf eine noch komplettere Einrichtung, die auch für diese Art Messungen geeignet ist, angewiesen ist.

(Fortsetzung folgt.)

Ein neues Fadenelektrometer.

Von
Werner Kolhörster in Berlin.

Das im folgenden beschriebene Elektrometer hatte ich schon im Jahre 1913, mit der Neukonstruktion des Wulfschen Strahlungsapparates beschäftigt, entworfen. Doch fehlte es damals an Zeit, das Instrument anzufertigen und genügend erproben zu können, so daß es erst vor zwei Jahren, als ich auf Veranlassung von Geheimrat Nernst meine experimentellen Arbeiten über durchdringende Strahlung wieder aufnahm, ausgeführt und seitdem verwendet worden ist.

Für die Schaffung einer neuen Elektrometertype neben den anerkannt guten Elektrometern von Wulf war maßgebend, ein gleichwertiges Instrument zu besitzen, das ohne Verwendung einer Kompensation von Temperatureinflüssen völlig frei sein sollte, selbst unter den schwierigsten Versuchsbedingungen, wie sie bei den Arbeiten über durchdringende Strahlung und anderen luftelektrischen bzw. elektrostatischen Messungen eintreten können.

Dazu mußte die bei den Fadenelektrometern gebräuchliche Konstruktion prinzipiell aufgegeben werden. Denn da die Elektrometerfäden bei diesen in einem Metallrahmen ausgespannt sind, so ändern sich ihre Spannung und die Elektrometerangaben mit der Temperatur, was man allerdings durch geeignet angebrachte Vorrichtungen zu kompensieren versucht. Da es sich aber um ein System aus sehr guten und sehr schlechten Wärmeleitern handelt (Metalle und Bernstein- bzw. Quarzisolatoren), so ist eine gute Kompensation nur in begrenztem Temperaturbereich, bei Verwendung von Material geringster Wärmeausdehnung herzustellen. Schnellen Wärmeänderungen gegenüber kann jedoch auch diese nicht immer gewachsen sein. Sodann verführt der Gedanke, ein kompensiertes Instrument zu besitzen, leicht dazu, im Vertrauen auf die Kompensation die Instrumente nicht erst besonders auf derartige Einflüsse zu prüfen und ihnen mehr zuzumuten, als sie vielleicht vertragen können. Ganz allgemein bedingt also eine Kompensation fast stets eine gewisse Unsicherheit, besonders bei feineren Messungen. Um nun eine solche Vorrichtung zu vermeiden, wurde die Biegungselastizität der feinen Quarzfäden allein als Gegenkraft gegen die elektrischen Abstoßungskräfte in der Weise ausgenutzt, daß die Fäden in Form vertikal stehender, frei tragender Schlingen mit ihren Enden in einigen Millimetern Abstand voneinander an einem dünnen Metallblechstreifen befestigt werden, der in einem Isolator eingekittet ist. Entsprechend den Ein- und Zweifadenelektrometern kann man eine oder zwei kongruente Schlingen verwenden, die von einem Mikroskop mit Okularmikrometer am Scheitel der Schlingen abgelesen werden.

Bei Ladung des Systems tritt keine Formänderung der Schlingen ein, diese bewegen sich vielmehr nur in der Horizontalen und erscheinen im Gesichtsfeld genau wie bei anderen Fadenelektrometern als vertikale schwarze Striche auf der Okular-


Digitized by Google

skala. Infolge des kleinen Abstandes des Mikroskopobjektives von der anvisierten Stelle, der etwa 20—30 mm beträgt, sind durch Temperatureinflüsse hervorgerufene Änderungen des Objektabstandes viel zu gering, um von irgendwelchem Einfluß auf die Ablesungen zu sein. Für ganz extreme Temperaturänderungen bei feinsten Messungen, z. B. zu Beobachtungen der durchdringenden Strahlung im Hochgebirge habe ich die in *dieser Zeitschrift* ***45.*** *S. 348. 1924* bereits näher beschriebene Anordnung benutzt, daß direkt an die Objektivfassung ein passend gebogenes Quarzrohr angeschraubt wird, welches das Elektrometersystem trägt. Dies besteht hierbei aus zwei Fäden, die infolge ihrer freitragenden Anordnung ohne Hilfsschneiden verwendet werden können und somit gestatten, die Kapazität des Systems außerordentlich klein (unter 0,4 cm) zu halten.

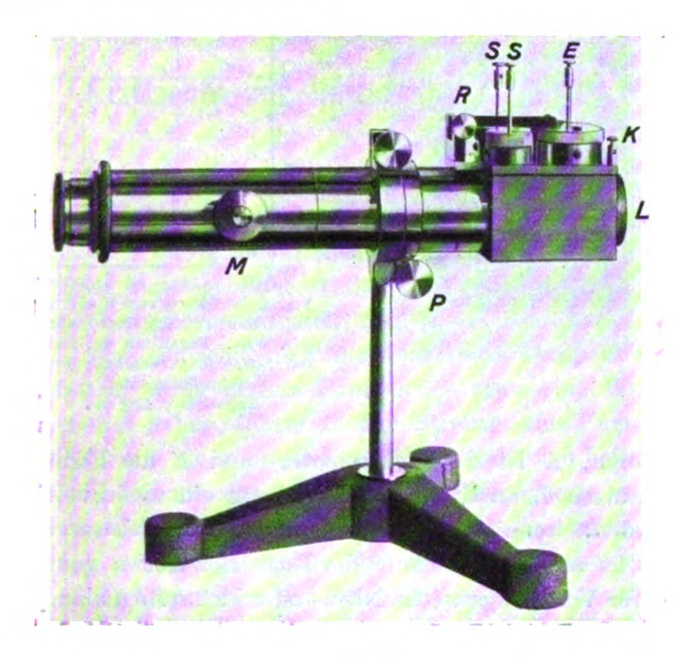


Fig. 1.

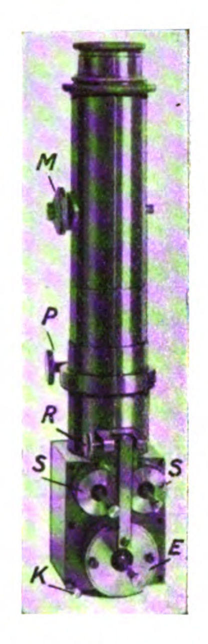


Fig. 2.

Für die übliche Ausführung sind dagegen zwei isolierte Schneiden in Form von kleinen Drahtrechtecken vorgesehen, um das Elektrometer als Ein- oder Zweifadeninstrument zugleich verwenden zu können. Man hat nur nötig, das Einfadensystem gegen ein solches mit Doppelfaden auszutauschen. Die Schneiden sind so angebracht, daß die Fäden sie nie berühren, sodaß das lästige Kleben der Fäden bei Überladung vollständig vermieden wird, die Elektrometer vertragen also unbeschadet sehr hohe Überladungen. Im übrigen lassen sich beide Schneiden durch Drehen um die längere Rechteckseite mehr oder weniger den Fäden nähern, wodurch eine feinere Änderung in der Voltempfindlichkeit der Instrumente zu erzielen ist. Ferner gestattet die Anordnung auch bei den Zweifadeninstrumenten eine sehr bequeme Änderung des Meßbereiches, indem man z. B. das zu messende Potential an die Schneiden legt und, wie aus der Eichkurve Fig. 5 ersichtlich, dadurch den Meßbereich um das 3—5 fache erweitern kann. Die Empfindlichkeit, die in erster Linie von der Dicke und Länge der Fäden abhängig ist, kann also durch besondere Schaltung und Hilfsladung noch weitgehend geändert werden. Von besonderer Bedeutung für die Inlstrumente ist ihre geringe Kapazität von etwa 2 cm, wodurch es möglich

Digitized by Google

wird, selbst bei feinen Strommessungen noch mit verhältnismäßig geringer Voltempfindlichkeit auszukommen. Dies ist auch von Vorteil für absolute Transportsicherheit, welche die Elektrometer an sich schon auszeichnet. Sie lassen sich wegen ihrer kleinen Abmessungen ($4 \times 4^1/_2 \times 6$ cm, mit Mikroskop $4^1/_2 \times 6 \times 23$ cm) bequem in der Tasche tragen. Weitere Einzelheiten der Konstruktion sind aus den beigefügten Figuren ersichtlich. Figur 1 zeigt die Seitenansicht des Instrumentes, Figur 2 gibt die Aufsicht. *M* dient zum Scharfeinstellen, *P* ist die Klemmschraube für das Mikroskop, *R* gestattet Verschwenken der Fäden, um sie symmetrisch zur Skala einzustellen.

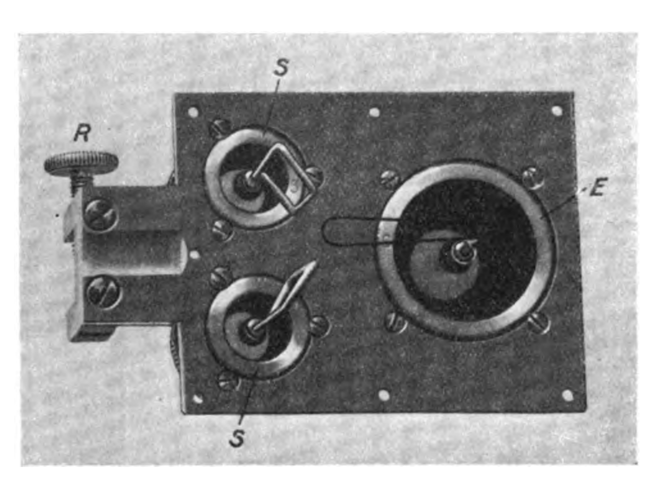


Fig. 3.

Skalenteile
50
0
50
100
0 50 100 Volt

Fig. 4. Eichkurve zum Einfaden-Elektrometer nach Kolhörster. (Nr. 5040). Faden mit der rechten Schneide verbunden, linke Schneide geerdet. Kapazität = 1,62 cm.

S sind die beiden Hilfskonduktoren, *E* ist die Elektrometer- und *K* die Erdungsklemme. An dem kurzen Rohrstutzen *L* an der Rückwand kann ein niedervoltiges Glühlämpchen angeschraubt werden, wenn das Elektrometer zu Registrierzwecken verwendet werden soll, bei nicht zu schnellem Ablaufe der Registrierstreifen genügen 2—4 Voltlampen, bei Projektion für Vorlesungszwecke Nitra- oder kleine Bogenlampen.

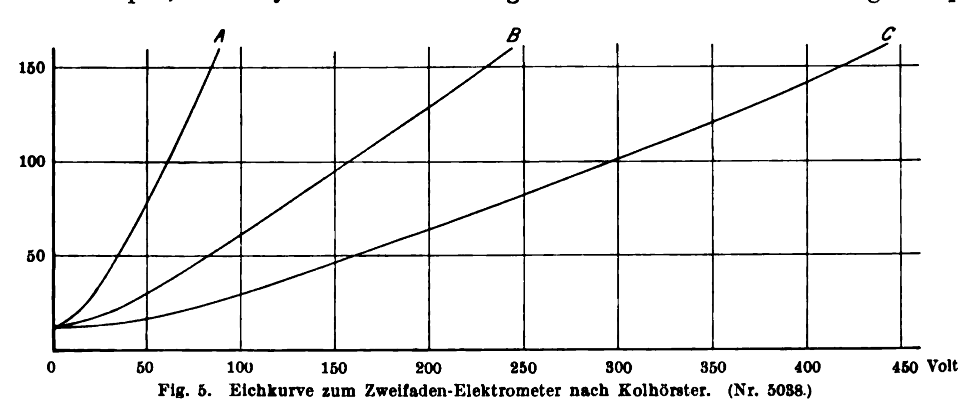


Fig. 5. Eichkurve zum Zweifaden-Elektrometer nach Kolhörster. (Nr. 5038.)
A Spannung an den Fäden, Schneiden geerdet. Schneiden bis zum Anschlage von den Fäden genähert.
B Spannung an den Schneiden, Fäden geerdert. Schneiden bis zum Anschlage von den Fäden entfernt.
C Spannung an den Schneiden, Fäden geerdet. Schneiden bis zum Anschlage der Fäden genähert.
Kapazität = 2,5 cm.

In Figur 3 ist das Innere des Elektrometers nach abgenommenem Gehäuse in natürlicher Größe zu sehen.

Für ein solches Einfadeninstrument ist in Figur 4 eine Eichkurve gezeichnet bei idiostatischer Schaltung (Faden mit einer Schneide verbunden, die andere geerdet).

Digitized by Google

Höhere Empfindlichkeiten werden durch Anlegung von Hilfsspannung an die Schneiden erzielt, wobei man etwa 1 Skalenteil = 0,01 Volt erreichen kann. Eichkurven eines 2-Fadenelektrometers sind in Figur 5 wiedergegeben. Die Empfindlichkeit dieses Instrumentes bewegt sich zwischen 1 Skalenteil ungefähr 0,5 und 2,6 Volt. Auch hier kann man durch Hilfsladung die Empfindlichkeit weiter ändern.

Zusammenfassend wäre zu sagen, daß die Instrumente durch kleine Abmessungen, hohe Stromempfindlichkeit und Unabhängigkeit von äußeren Einflüssen sich auszeichnen. Dies macht sie für Arbeiten außerhalb des Laboratoriums unter schwierigen Verhältnissen besnoders geeignet.

Die Anfertigung der Elektrometer hat die Firma Günther und Tegetmeyer, Braunschweig, übernommen, welche auch die hier abgebildeten Instrumente nach einer Laboratoriumskonstruktion von Dr. Berg und mir ausgeführt hat.

Kritisches zur Bewertung von Hochvakuumpumpenmodellen.

Von

H. Ebert in Charlottenburg.

Die Fülle von Hochvakuumpumpenmodellen, die in den letzten Jahren konstruiert wurden, hat ein Vergleichen der einzelnen Typen untereinander notwendig gemacht. Dabei haben sich zur Bewertung der Modelle vier Faktoren als besonders geeignet herausgebildet: 1. das erforderliche Vorvakuum, 2. das erreichte Endvakuum, 3. die Sauggeschwindigkeit und 4. die Betriebssicherheit.

Die Tatsache, daß die bisherigen Pumpen nur dann ihre volle Wirksamkeit entfalten, wenn andere Pumpen — etwa eine Wasserstrahl- oder Ölpumpe — vorgearbeitet haben, führte zu dem Streben, eine Pumpe dadurch wertvoller zu machen, daß sie mit einer möglichst kleinen Zahl von Unterstufen auskam. Dafür aber gibt es zwei Wege: entweder wird die Hauptpumpe selbst so konstruiert, daß ein verhältnismäßig schlechtes Vorvakuum für sie ausreicht, oder es wird die Vorvakuumpumpe so durchgearbeitet, daß diese ohne besondere Vorstufe einen Druck herstellt der den Ansprüchen der betreffenden Hauptpumpe genügt.

So ist erreicht, daß heute durchweg bei geeigneter Wahl der Vor- und Hauptpumpe nur eine Zwischenstufe notwendig wird. Damit aber hat das Vorvakuum für die Bewertung einer Pumpe an Bedeutung verloren und ist mehr eine Frage der im Betrieb vorhandenen Möglichkeiten, ein Vorvakuum von geeigneter Größe herzustellen. Nur da, wo Gegenstände entgast werden sollen, die plötzlich eine große Menge Gas abgeben können, ist für ein stetiges Evakuieren eine Pumpe vorzuziehen, die mit verhältnismäßig schlechtem Vorvakuum arbeitet. Denn es könnte sonst einmal der Fall eintreten, daß das von der Hauptpumpe herübergedrückte Gas von der Vorpumpe nicht schnell genug fortgeschafft, das Vorvakuum dadurch verschlechtert und so die Wirksamkeit der Hauptpumpe herabgesetzt wird. Wie sehr aber das Arbeiten einer Pumpe von dem Vorvakuum beeinflußt werden kann, soll weiter unten bei Besprechung der Sauggeschwindigkeit gezeigt werden.

Für die Erreichung des Endzweckes also, einen sehr niedrigen Druck zu schaffen, ist die Frage des Vorvakuums nicht mehr ausschlaggebend. Vielmehr sind die beiden Forderungen eines sehr hohen Endvakuums und einer großen Sauggeschwindigkeit von allein maßgebender Bedeutung. Bei Untersuchungen über Hochvakuumpumpen[1]) hat sich gezeigt, daß diese beiden Forderungen nicht voneinander

[1]) H. Ebert, Über die Sauggeschwindigkeit einiger Hochvakuumpumpen. *Zeitschr. f. Phys.* **19.** *S. 206. 1923.*


Digitized by Google

zu trennen sind, sondern eng zusammengehören. Schon deshalb ist ein gleichzeitiges Behandeln dieser beiden Punkte von Nutzen, da meßtechnisch hier eine Schwierigkeit auftritt, die durch Heranziehung der Sauggeschwindigkeit teilweise überwunden wird. Denn es ist bisher nicht möglich gewesen, eindeutig und jederzeit reproduzierbar Drucke über 10^{-7} mm Hg mit einiger Genauigkeit zu messen. Die meisten Hochvakuumpumpen aber überschreiten diesen Druck, so daß eine Angabe des erreichten Enddruckes zur Zeit nicht möglich ist. Die Vakuumtechniker haben sich dadurch geholfen, daß sie sich Anhaltspunkte durch Erfahrungen beim Auspumpen selbst schafften, indem durch das Verhalten der zu evakuierenden Röntgen- und Elektronenröhren der jeweils herrschende Druck geschätzt wird.

Der andere etwas sicherere Weg, Aussagen über das Verhalten einer Pumpe jenseits des nicht mehr meßbaren Druckes zu machen, ist, wie oben bereits angedeutet wurde, durch Beachtung des dritten am Anfang aufgeführten Punktes: der Sauggeschwindigkeit gegeben. Man untersucht eine Pumpe von einem bestimmten Ausgangsvakuum bis zu einem Druck, den man noch etwa mit einem Mac Leodschen Manometer messen kann. Dabei beobachtet man in bestimmten Zeitabschnitten $t_1, t_2, t_3 \ldots$ die herrschenden Drucke $p_1, p_2, p_3 \ldots$. Die Sauggeschwindigkeit S findet man dann durch die Formel $S = \frac{V}{t_2 - t_1} \ln \frac{p_1}{p_2}$. V bedeutet den Gesamtinhalt der zu evakuierenden Apparatur. S als $f(\log \bar{p})$ graphisch dargestellt ($\bar{p}$ ist das jeweilige Mittel aus p_n und p_{n+1}), liefert uns die Möglichkeit, aus dem Verlauf der Kurve die Güte der Pumpe in bezug auf Forderung 2 und 3 abzuschätzen. Es stellt sich heraus, daß bei fast allen Pumpen S von $\bar{p}$ stark abhängig ist. An Hand dieser Erscheinung können wir das Endvakuum p_0 definieren als den Druck, bei dem die Sauggeschwindigkeit S null wird. Ausgedrückt durch eine Formel würde es heißen:

$$p_0 = \lim_{S \to 0} \frac{\bar{p}_n + \bar{p}_{n+1}}{2}.$$

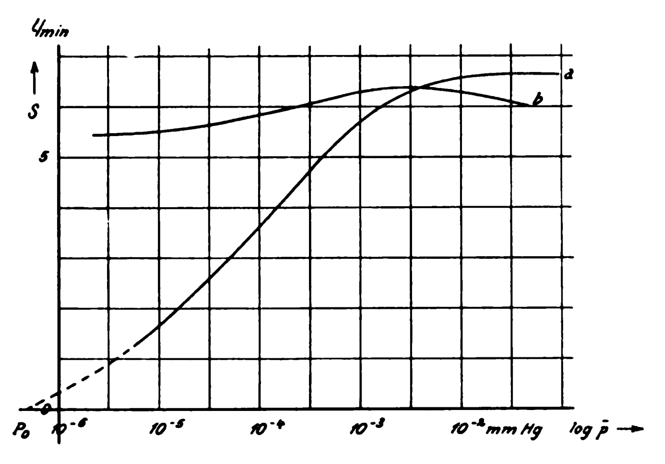
Im Idealfall würden wir eine Kurve mit großen Werten der Ordinaten finden, die parallel zur Abszissenachse verläuft. Von einer solchen Pumpe würden wir sagen, daß ihr Endvakuum $p_0 = 0$ sei. Bei den untersuchten Modellen aber bleibt der anfängliche hohe Wert der Sauggeschwindigkeit, wie er meistens bei verhältnismäßig hohen Drucken gefunden wird, nicht erhalten, sondern nimmt ab, um entweder bei einem endlichen Wert von $\bar{p}$ null zu werden oder zu einer Parallelen zur Abszissenachse umzubiegen, so daß etwa mit einem Mac Leodschen Manometer der Enddruck nicht meßbar wird. Man erwartet von einem Modell mit einer solchen Kurve der Sauggeschwindigkeit, daß es den Ansprüchen, wie sie beim Evakuieren von Röntgen- und Elektronenröhren gestellt werden, Genüge leistet.

Andere Modelle wiederum gibt es, deren Sauggeschwindigkeit mit kleinen Werten einsetzt, bis zu einem Maximum ansteigt, nachher aber stark abfällt, so daß ein Endvakuum noch im meßbaren Gebiet erreicht wird oder doch durch Extrapolation über $\bar{p} < 10^{-6}$ mm Hg hinaus leicht angegeben werden kann. Diese Erscheinung zeigt deutlich, welch falsches Bild man von der Wirkungsweise einer Pumpe im Verhältnis zu einer andern, deren S-Kurve kein Maximum aufweist, dafür aber die anfänglich etwas kleineren Ordinatenwerte beibehält und parallel zur Abszissenachse verläuft, bekommen kann, wenn nicht der ganze Verlauf der Kurve $S = f(\log \bar{p})$ betrachtet wird, sondern nur die Zeit, innerhalb deren etwa die Grenze des Meßbereichs eines Mac Leodschen Manometers erreicht ist. Das letztgenannte Modell würde bei dieser


Digitized by Google

Art der Beurteilung als das weniger gute erkannt werden, obwohl es in bezug auf das Endvakuum dem andern überlegen ist.

Die Kurve der Sauggeschwindigkeit zeigt auch, wie oben bereits angedeutet, die Abhängigkeit einer Pumpe vom Vorvakuum. Die Figur gibt ein Beispiel. In einem Diagramm mit den Koordinaten log $\bar{p}$ und S sind 2 Kurven a und b eingezeichnet, die für ein und dasselbe Modell gelten. Die Kurve b wurde mit einem Vorvakuum, das zur Entfaltung der vollen Wirksamkeit der Pumpe genügt, die Kurve a aber bei einem 5 mm Hg höheren Druck aufgenommen. Man sieht deutlich, wie bei richtigem Vordruck eine gute Sauggeschwindigkeitskurve herauskommt, während sie bei zu hohem stark abfällt, so daß dann die Pumpe bei $p_0 = 5{,}2 \cdot 10^{-7}$ mm Hg ein Endvakuum erreicht.



Die letzte der obigen Forderungen, die der Betriebssicherheit, erstreckt sich auf die Haltbarkeit, Zuverlässigkeit und Einfachheit.

Eine große Haltbarkeit wird durch Verwendung eines Materials angestrebt, das gegen Bruch und Springen widerstandsfähiger ist als Glas, z. B. Quarzglas, oder Metall. Die bisher gebauten Modelle aus Stahl, insbesondere die der Firmen Leybolds Nachfolger, Köln, und Pfeiffer, Wetzlar, dürften in dieser Beziehung den augenblicklichen Anforderungen vollauf genügen. Man könnte Bedenken gegen die Verwendung eines Metalls als Bausubstanz einer Pumpe erheben. Es hat sich indes gezeigt, daß eine etwaige Porosität auf die Wirkungsweise der Pumpen keinen Einfluß hat. Hier würde überdies die hohe Sauggeschwindigkeit dieser Modelle in weiten Grenzen eine Sicherheit bieten.

Damit ist die Frage der Zuverlässigkeit berührt. Sie darf sich nicht nur auf die einzelnen Modelle erstrecken, sondern sollte bei jedem Individuum gestellt werden. Der Bau der inneren Teile, vor allem der der Düsen, ist für ein gutes Arbeiten einer Pumpe ausschlaggebend. Es kann leicht aus irgendeinem Grunde bei der Fabrikation eine nur geringe Verlagerung eintreten, die die Wirkungsweise der Pumpe ungünstig beeinflußt.

Die Forderung nach Einfachheit endlich bezweckt nicht nur die Möglichkeit eines leichten Auseinandernehmens und Reinigens, sie will erreichen, daß kleinere Reparaturen, die sich während des Betriebes einstellen, vom Besitzer selbst ausgeführt werden können, ohne die Wirksamkeit oder Zuverlässigkeit der betreffenden Pumpe herabzusetzen.

Zum Schluß mag noch eine Frage erwähnt werden, die bisher wenig beachtet ist, vielleicht aber später, wenn die oben besprochenen Forderungen restlos erfüllt sind, in den Vordergrund tritt. Es ist dies eine Rentabilitätsfrage, die man an jede Maschine zu stellen gewohnt ist: die eines guten Wirkungsgrades. Es soll also bei einer Gegenüberstellung zweier Pumpen die den Vorzug verdienen, die ceteris paribus

Digitized by Google

einen geringeren Aufwand an Energie gebraucht. Es müßte der Aufwand an Gas oder Elektrizität und an Wasser, das zur Kühlung dient, berücksichtigt werden.

Untersuchungen[1]), die sich auf eine Anzahl der neuesten Modelle erstreckten, haben den Nachweis erbracht, daß die Vakuumtechniker in ihren Pumpen ein gutes Rüstzeug besitzen, das ihre Wünsche weitgehend berücksichtigt.

Referate.

The circular dividing engine of Edward Troughton 1793.

Von David Baxandall. *Transact. Opt. Soc. London* **25.** (*1923/24*). *S. 135.*

Die Geschichte der Kreisteilungsmaschine beginnt in England mit dem Uhrmacher Henry Hindley in York, der 1740 eine Zahnschneidemaschine für Uhrenzahnräder herstellte; sein Verfahren ist allerdings erst fast ein halbes Jahrhundert später durch Smeaton bekannt geworden (*Philos. Transact.* **76.** *1786, „Observations on the graduation of astronomical instruments“).* Man darf aber jene Erfindung nicht übersehen, indem man, wie es gewöhnlich geschieht, dem Herzog von Chaulnes in Paris die Idee einer Maschine zur Einteilung von Kreisen zuschreibt (1765 der Pariser Akademie mitgeteilt und in deren *„Mémoires“* desselben Jahres veröffentlicht, dann nochmals 1768 in einer besondern Schrift bekannt gegeben). Ganz unabhängig von Chaulnes und etwa gleichzeitig mit ihm hatte ferner Jesse Ramsden eine erste, zunächst freilich wenig vollkommene Kreisteilmaschine gebaut; 1775 war seine zweite, wesentlich verbesserte Maschine fertig, für die er von den *„Commissioners of Longitude“* einen Preis von 600 Guineen erhielt mit der Auflage, eine Beschreibung seiner Maschine zu veröffentlichen (1777 erschienen), ferner eine kleine Zahl (nicht über 10) Personen in der Zeit von Oktober 1775 bis dahin 1777 mit Bau und Gebrauch der Maschine, die ins Eigentum der Längenkommission überging, genau bekannt zu machen, endlich jeden Sextanten für 6, jeden Oktanten für 3 sh. zu teilen. (Diese Ramsdensche Maschine befindet sich jetzt im amerikanischen National-Museum in Washington.)

Besonders in England haben sich dann auch in der nächsten Zeit hervorragende Mechaniker die Verbesserung der Kreisteilmaschinen angelegen sein lassen. So hat 1775—78 John Troughton eine Teilmaschine gebaut, die freilich Ramsden gegenüber keinen wesentlichen Fortschritt brachte; sie wurde jedoch von Johns Bruder Edward Troughton bald sehr vervollkommnet in einer 1793 beendigten Konstruktion. Die Originalteilung des 34zölligen Kreises (= 86 cm Durchmesser) ist nach einer Ed. Tr. eigentümlichen und von ihm 1809 (*Phil. Transa.*) veröffentlichten Methode ausgeführt; eine Beschreibung der ganzen Maschine von ihrem Verfertiger erschien erst 1830.

Diese Edw. Troughtonsche Maschine war auf Veranlassung der *Optical Society* im Februar d. J. im Science Museum London ausgestellt. Der Verfasser gibt seinem Aufsatz drei Abbildungen nach Original-Photographien bei. Es ist allerdings nicht mehr unverändert die Maschine von 1793; sie wurde vielmehr durch William Simms (der sich 1826 mit Troughton verband und 1843 eine neue eigene Teilmaschine von 46 Zoll [= 117 cm] Durchmesser vollendet hat) zur automatischen, oder nach den heutigen Bezeichnungen wenigstens halbautomatischen, Maschine umgebaut. W. Simms hat seine eigene Maschine 1846 beschrieben (*„Self-acting circular dividing engine“*, *Memoirs R. A. Soc.* **15.** *1846*) und die Abänderungen der Troughtonschen Maschine von 1793 entsprechen so genau dieser Beschreibung, daß sie auf etwa dieselbe Zeit anzusetzen sein werden.

Die Maschine war von 1793 an bei Troughton (Edward T. † 1835), dann bei Troughton and Simms von 1826 an, endlich bei Cooke, Troughton and Simms bis in die 20er Jahre dieses Jahrhunderts herein (zuletzt allerdings nur noch für Teilungen untergeordneter Genauigkeit) in ununterbrochenem Gebrauch; schon deshalb verdient der Beitrag von Baxandall zur Geschichte der Kreisteilmaschinen in England auch in *dieser Zeitschr.* Erwähnung.

Hammer.

[1]) a. a. O.


Digitized by Google

Über einen Rechenschieber für komplexe Zahlen.

Von J. Spielrein. *Elektrotechn. Zeitschr.* **45.** *S. 849. 1924.*

Der Verf. beschreibt mehrere Hilfsmittel zur Abkürzung der Rechnungen bei Benutzung komplexer Zahlen zur algebraischen Darstellung von Schwingungen. Diese Rechnung mit komplexen Zahlen tritt ja z. B. in der Elektrotechnik mehr und mehr an die Stelle der Vektordiagramme usf.; es ist deshalb in der Tat wertvoll, für jene „geometrische Rechnung" mit „Richtstrecken" Werkzeuge zu haben, die bei nicht hohen Ansprüchen an die Genauigkeit die Rechnung in derselben Art abkürzen, wie der Rechenschieber und ähnliche Einrichtungen bei der Rechnung mit reellen Zahlen.

Ein Instrument dieser Art ist in Deutschland vor wenigen Jahren in die Öffentlichkeit getreten in dem neuerdings *Vectator* genannten „Universal-Präzisionsschnellrechen-Instrument", das Gebr. Haff in Pfronten, Bayern, nach dem Entwurf des Erfinders, Oberst Friedrich in München, ausführen (D. R. P. 333548).

Der Verf. gibt mehrere weitere Vorrichtungen zur Vereinfachung des Rechnens mit Vektoren an.

Die erste ist ein Rechenbrett, mit dem zunächst in einfacher Art von dem Ausdruck $a + bi$ für eine bestimmte komplexe Zahl auf die entsprechende zweite Form $\varrho \cdot e^{i\varphi}$ und umgekehrt übergegangen werden kann.

Aus

$$\varrho \cos \varphi = a, \qquad \varrho \sin \varphi = b$$

erhält man nämlich

$$\log \varrho + \log \cos \varphi = \log a, \qquad \log \varrho + \log \sin \varphi = \log b,$$

also für ein rechtwinkliges ebenes Koordinatensystem (x, y), in dem die Abszissen x die $\log \varrho$ und die Ordinaten y die Anomalien φ vorstellen, die Gleichungen der zwei Kurvenscharen

$$x + \log \cos y = \log a, \qquad x + \log \sin y = \log b,$$

in denen jeder Änderung der Parameter a und b eine einfache Verschiebung der Kurven ohne Formänderung entspricht. Jedem bestimmten Wertepaar a_1 b_1 der Parameter entsprechen zwei bestimmte Individuen der Kurvenscharen; diese zwei Kurven schneiden sich in dem Punkt mit den Koordinaten:

$$x_1 = \log \sqrt{a_1^2 + b_1^2} = \log \varrho_1, \qquad y_1 = \operatorname{arc\,tg} \frac{b_1}{a_1}.$$

Das Rechenbrett erhält demgemäß folgende Einrichtung: Es sind zunächst zwei feste Skalen AB und CD senkrecht zueinander anzuordnen, die erste AB, den $\log \varrho$ entsprechend, eine gewöhnliche logarithmische Skale, die zweite CD eine gleichförmige Winkelskale der φ (in Graden von 0^0 bis 90^0). Auf dem diese Skalen tragenden Brett sind ferner zwei Blätter verschiebbar, auf denen die Kurven

$$x + \log \cos y = 0 \text{ (unterer oder } \textit{Cos}\text{-Streifen)}$$

und

$$x + \log \sin y = 0 \text{ (oberer oder } \textit{Sin}\text{-Streifen; durchsichtig)}$$

aufgetragen sind mit in passenden Abständen angeschriebenen y-Werten.

Die Anwendung der Vorrichtung auf die oben angedeuteten Grundaufgaben, Übergang von

$$a + bi \quad \text{auf das entsprechende} \quad \varrho \cdot e^{i\varphi},$$

oder umgekehrt ist nun ohne weiteres einzusehen, ebenso die Ausführung von Multiplikation oder Division:

$$(a + bi)(c + di) = \varrho \cdot e^{i\varphi}; \qquad \frac{f + gi}{m + ni} = \varrho_1 \cdot e^{i\varphi_1}, \quad \text{wobei } \varrho, \varphi; \varrho_1, \varphi_1$$

bei gegebenen $a, b; c, d$ oder $f, g; m, n$ abzulesen sind. In einer Genauigkeitsdiskussion ermittelt der Verf. zweckmäßige Abmessungen der Skalen des Rechenbretts.

Noch wichtiger als dieses Komplexzahlen-Rechenbrett erscheinen mir die „vereinfachten Konstruktionen" des Verf. in *Rechenschieberform,* wenn sie auch natürlich geringere Genauigkeit im Vergleich mit dem in größern Abmessungen ausgeführten Rechenbrett geben.

Digitized by Google

Der erste dieser Rechenschieber, ein *Dreizungenrechenschieber*, ersetzt die verschiebbaren Cos- und Sin-„Streifen“ des Rechenbretts durch zwei weitere Zungen (die erste ist die gewöhnliche Zunge mit derselben log. Teilung, wie sie auf der ersten obern [Stab]-Teilung aufgetragen ist), die wieder als cos- und als sin-„Streifen“ bezeichnet werden und derart geteilt sind, daß die φ-Striche auf der ersten in der Entfernung $-\log\cos\varphi$, auf der zweiten in der Entfernung $-\log\sin\varphi$ vom Anfangspunkt angebracht sind. Eine „*Fadenlinie*“ (am einfachsten in der Form eines die obere Stab- und die drei Zungenteilungen übergreifenden, am Stab geführten Glasläufers mit Strich) muß für die Einstellungen und Ablesungen vorhanden sein.

Der zweite der Rechenschieber endlich hat die Form des von jedermann gebrauchten „gewöhnlichen“ Schiebers, dessen Zunge eine log sin-Skale mit enthält und der entweder ohne weiteres oder noch zweckmäßiger nach ganz geringer Änderung der Bezifferung der Zunge zur Rechnung mit komplexen Zahlen geeignet ist. *Hammer.*

Die Ausführung technischer Integrationen auf mechanischem Wege mit einem neuen Integraphen.

Von U. Knorr. *Elektrotechn. Zeitschr.* **45.** *S. 869. 1924.*

Notiz über einen neuen vom Verf. angegebenen, in der feinmechanischen Werkstatt Gebr. Stärzl, München 2. S. O., ausgeführten Integraphen, mit dem nicht nur Differentialgleichungen I. O., sondern je nach der Einrichtung des Instruments auch solche von höhern Ordnungen graphisch-mechanisch gelöst werden können.

Die Beschreibung dieses „Universalintegraphen“ oder „Fahrdiagraphen“ ist a. a. O. leider so kurz und die Abbildung des Instruments läßt so wenig Einzelheiten erkennen, daß auch der Referent, wie der Verf. selbst tut, nur auf die eingehende Darstellung der Theorie und der Wirkungsweise des Instruments (mit vielen Abbildungen) verweisen kann, die in der Dissertation des Verf. „Über einen Integraphen zur mechanischen Integration einer sehr allgemeinen Gruppe von Differentialgleichungen“, München 1921, enthalten sein soll[1]).

Im vorliegenden Aufsatz bespricht der Verf. im wesentlichen nur die Anwendung seines Instruments für Differentialgleichungen II. O. auf ein Beispiel aus dem Betrieb elektrischer Bahnen. Die Aufgabe ist diese: Für einen Zug von bekanntem Gewicht, der eine bestimmte Strecke mit gegebenen Neigungen und Krümmungen durchfährt, soll ein Fahrdiagramm über den zeitlichen Verlauf der Zugsgeschwindigkeit und der jeweils vom Zug durchfahrenen Strecke entworfen werden. Man hat zur mechanischen Lösung der Aufgabe mit dem Fahrintegraphen (II. O.) zunächst zwei Diagramme herzustellen, von denen I die Streckenwiderstände in ihrer Abhängigkeit vom Weg, II die Zugkraft und den Fahrwiderstand in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit darstellt; I und II sind auf die zwei Diagrammebenen des Instruments aufzulegen und es ist dann mit je einem „Fahrschieber“ den gegebenen Diagrammlinien nachzufahren. Die Auslenkungen der zwei Schieber werden durch das Instrument selbsttätig zur Resultante zusammengesetzt und auf die Steuerung übertragen. Die Verschiebungen der zwei Diagrammebenen werden durch Schreibstifte auf der Trommel T aufgezeichnet, auf der die gewünschte Integralkurve entsteht. Die auf T im vorliegenden Fall entstehenden Linien stellen den gesuchten Verlauf der Geschwindigkeit und den zurückgelegten Weg je über der Zeit dar.

Es ist wohl zweifellos, daß sich der „Universalintegraph“ in der Tat für sehr viele Zwecke des projektierenden und des forschenden Ingenieurs als ein Zeit und Arbeit sparendes Hilfsmittel erweisen wird, indem es den oft langwierigen Weg der punktweisen Konstruktion von Integralkurven bei graphischer Auflösung von Differentialgleichungen, die bei technischen Aufgaben oft wiederkehren und deren „mathematische“ Behandlung häufig gar nicht durchführbar ist, abkürzt.

Der Verf. schreibt seinem Universalintegraphen auch große Genauigkeit zu, indem er die einseitigen Fehler der bisherigen Instrumente mit Sicherheit eliminiere; es wäre wünschenswert, wenn auf Grund praktischer Erfahrungen hierüber bald Näheres mitgeteilt werden könnte. *Hammer.*

---

[1]) In dem Aufsatz ist angegeben, die Schrift könne von dem genannten math.-mechanischen Institut bezogen werden; ich habe sie mir aber bis jetzt weder auf diesem noch auf anderen versuchten Wegen verschaffen können. *H.*

Digitized by Google

Das Zeitzeichen von Nauen und seine Erweiterung durch Koinzidenzsignale.

Von Sa. *Funk 1924 (18) S. 279.*

Von 1910 bis 1917 hat bekanntlich Norddeich das internationale drahtlose Zeitsignal, dessen Anordnung in *dieser Zeitschr.* **33.** *S. 141. 1913* näher beschrieben ist, abgegeben. Seit 1917 sendet Nauen täglich zweimal, mittags und nachts 1^h, das Signal, und zwar gleichzeitig auf $\lambda = 3100$ m (tönend) und $\lambda = 18050$ m (ungedämpft). Die Detektor-Empfänger der Rundfunk-Teilnehmer können das Zeitzeichen in der Regel auf $\lambda = 3100$ m empfangen, nicht aber die auf 500 m bzw. 700 m beschränkten Röhrenempfänger. Das Nauener Signal wird deshalb, u. a. in Berlin, mittels eines Empfängers direkt auf den Rundfunksender übertragen.

Um eine noch schärfere Uhrenvergleichung zu ermöglichen, ist das bisherige Zeitzeichen nach dem Onogo-System durch Angliederung von Koinzidenz-Signalen erweitert worden. Ihre Anordnung ist folgende. Beginnend mit $1^h\,0^m\,59{,}3^s$ und schließend mit $1^h\,5^m\,52{,}4^s$, wurden 301 Zeitmarken in $0{,}977^s$ Abstand gegeben. Sie bestehen aus 5×59 Punktreihen, die von je einem Strich von $0{,}5^s$ Dauer eingeschlossen sind. Eine nach mittlerer Zeit regulierte Uhr gibt also mit diesen Marken bis zu 7 Koinzidenzen, deren Zeitpunkt ohne Schwierigkeit auf etwa $0{,}01^s$ festzustellen ist.

G.

Un nouveau théodolite à microscopes.

Von G. Perrier. *Revue d'Optique.* **3.** *S. 187. 1924.*

Dieser neue Theodolit wird vom Vorstand der geodätischen Abteilung des *Service Geograph. de l'Armée,* Oberst Perrier (besonders bekannt durch seine Teilnahme an der Neumessung des südamerikanischen Meridianbogens), vorgeführt als Ersatz der bisher im *Service* gebrauchten Instrumente für Messungen II. Ordnung, nämlich von Gebr. Brunner (exzentr. Fernrohr, Lagekreis 23 cm, Höhenkreis 21 cm, je 4 Nonien mit 20" Angabe) und von A. Huetz (zentr. Fernrohr, Lagekreis 22 cm, Höhenkreis 14 cm, Ablesemikroskope mit 8' am Grundkreis, 10' am Höhenkreis für eine Schraubenumdrehung). Keines dieser beiden Instrumente sei ein wirkliches Universal gewesen, gleich gut verwendbar für geodätische und solche „astronomische" Messungen, bei denen Meridiankreis oder Durchgangsinstrument nicht verwendet werden können.

Das neue Modell eines solchen Universals, durch gemeinschaftliche Arbeit des Beobachters (Perrier) und des Erbauers (Prin; Optik von Jobin und von Jarret) entstanden, biete folgende Besonderheiten: Fernrohr zentrisch und selbst mit dem gebrochenen Okular durchschlagbar; die Brennweite des Objektivs ist nur 28 cm, deshalb konnte die Höhe der Kippachse über der Ebene auf der das Instrument steht, auf „nur" 39 cm beschränkt werden. Dieses „nur", zusammen mit der Abbildung des Instruments, wird auf deutsche Erbauer und Benutzer feiner Theodolite einen eigentümlichen Eindruck machen. Der Anblick erinnert etwas an manche englische Modelle aus der Frühzeit des Theodolits und macht unwillkürlich den Eindruck geringer Stabilität des Oberteils: am oberen Ende der zentralen Säule von etwa 14 cm Höhe, um die sich die Alhidade nach Art der Einrichtung bei dem Brunnerschen Azimutalkreis dreht, stehen auf einer Platte die zwei aus je zwei Stützen zusammengesetzten Träger des Fernrohrs von rund 20 cm Höhe; wenn aber jene Brunnersche Einrichtung allerdings gestattet, den Lagekreis des Instruments weit herunterzulegen (auf nur etwa $7^1/_2$ cm über der Ebene der Unterflächen der Fußschrauben), so ist doch fraglich, ob bei dem Aufbau des Oberteils des Instruments auf eine *„excellente stabilité"* des Ganzen zu rechnen ist.

Richtschrauben sind möglichst gespart, z. B. keine angebracht für den Winkel zwischen Stehachse und Kippachse, da dieser rechte Winkel *„par construction"* vorhanden sei. Das Fernrohr kann nicht nur, wie erwähnt, durchgeschlagen, sondern nach Lösung der Haltebügel über den Kippachsenzapfen auch umgelegt werden (was zur genauen Bestimmung der Kollimationslage des Okular-Mikrometerfadens auch ganz erwünscht ist), es ist aber damit fraglich, ob jener *„par construction"* rechte Winkel auf lange Zeit erhalten bleiben wird; worauf freilich, wenn stets in beiden „Lagen" des Fernrohrs beobachtet wird, auch für Horizontalwinkel wenig ankommt.

Das Fernrohrobjektiv hat bei nur 28 cm Brennweite (s. ob.) 50 mm Öffnung, drei Okulare geben 20, 30 und 40 fache Vergrößerung. Eine Umdrehung der Schraube des Okularmikrometers verschiebt den Faden um etwa 9', sodaß 1 pars der Trommel etwa 9" Verschiebung entspricht.


Digitized by Google

Die geschickte Anbringung der Höhenlibelle wird besonders hervorgehoben, ist jedoch aus der Abbildung nicht zu ersehen; dasselbe gilt von der Art der Kippfeinschraube.

Der Lagekreis hat 22, der Höhenkreis 18 cm Durchmesser; beide in $^1/_5{}^g$ zerlegt und durch je zwei Schraubenmikroskope abzulesen, an denen eine Schraubenumdrehung 8' und ein Teil der Trommel also 8'' gibt. Das Gesichtsfeld des Fernrohrs wie die Indexlupen und die vier Mikroskope können durch ein elektrisches Lämpchen beleuchtet werden. Das Instrument mit Überkasten ($39 \times 43 \times 58$ cm³) wiegt 37 kg. *Hammer.*

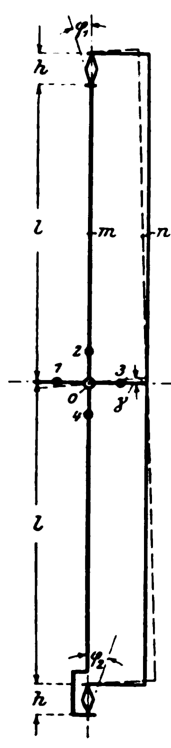
Der Schubmesser, ein neues Feinmeßgerät für Festigkeitsversuche.

Von A. Föppl, *Sitzungsber. d. math.-phys. Kl. d. Bayr. Akad. d. Wiss. 1923. S. 109.*

Ermittlung der Schubspannungen und des Schubelastizitätsmoduls mit Hilfe eines neuen Feinmeßgeräts.

Von K. Huber, *Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ing.* **67.** *S. 923. 1923.*

Während die eine der beiden Arbeiten im wesentlichen das Meßgerät beschreibt, berichtet die andere über seine Erprobung und den Vergleich seiner Meßergebnisse mit den aus den bekannten Verdrehungsversuchen ermittelten Werten, bei rechteckigen Querschnitten. Das Ziel beim Bau des Geräts war das, ein Meßinstrument zu bauen, das auch Schubspannungen bei solchen Querschnitten unmittelbar zu messen gestattet, die bisher, wegen des Fehlens von strengen Verdrehungsformeln, nicht genügend untersucht werden konnten.



Wie aus der schematischen Zeichnung hervorgeht, besteht das Meßgerät aus zwei etwa 10 cm langen Armen *m* und *n*, von denen *m* die beiden Spitzen 2 und 4, *n* die Spitzen 1 und 3 trägt, die 10 mm Abstand voneinander haben. Mit diesen Spitzen wird der Apparat auf das Probestück in ähnlicher Weise wie die üblichen Fühlhebelapparate angeklemmt, und es wird die Bewegung der beiden Stäbe *m* und *n* gegeneinander beim Verdrehungsversuch in bekannter Weise durch die beiden Doppelschneiden *h*, *h* von 5 mm Höhe gemessen. Diese Schneiden sind gegenläufig angeordnet, um räumliche Bewegungen des ganzen Apparats leicht ausschalten zu können.

Die praktische Erprobung zeigt, daß das Gerät im großen ganzen recht gut arbeitet, und bei rechteckigen Querschnitten, die rechnerisch faßbar sind, brauchbare Übereinstimmung mit den berechneten Werten gab. Seine Standfestigkeit bei harten Werkstoffen, z. B. Gußeisen war indessen noch nicht befriedigend, so daß Verlagerungen während des Versuchs vorkamen. Die Spitzenabstände erwiesen sich auch noch als zu groß, was ja dadurch erklärlich ist, daß die Schubspannungen in einem Querschnitt von einem Höchstwert bis zu dem Wert Null sich ändern. Es macht indessen wohl keine Schwierigkeit, diesen Abstand zu verkleinern und durch eine gleichzeitige Verkleinerung der Schneidenhöhe die gleiche Empfindlichkeit zu erzielen. *Block.*

Ein Manometer hoher Empfindlichkeit.

Von Leonard Heis. *Physikal. Zeitschr.* **25.** *S. 326. 1924.*

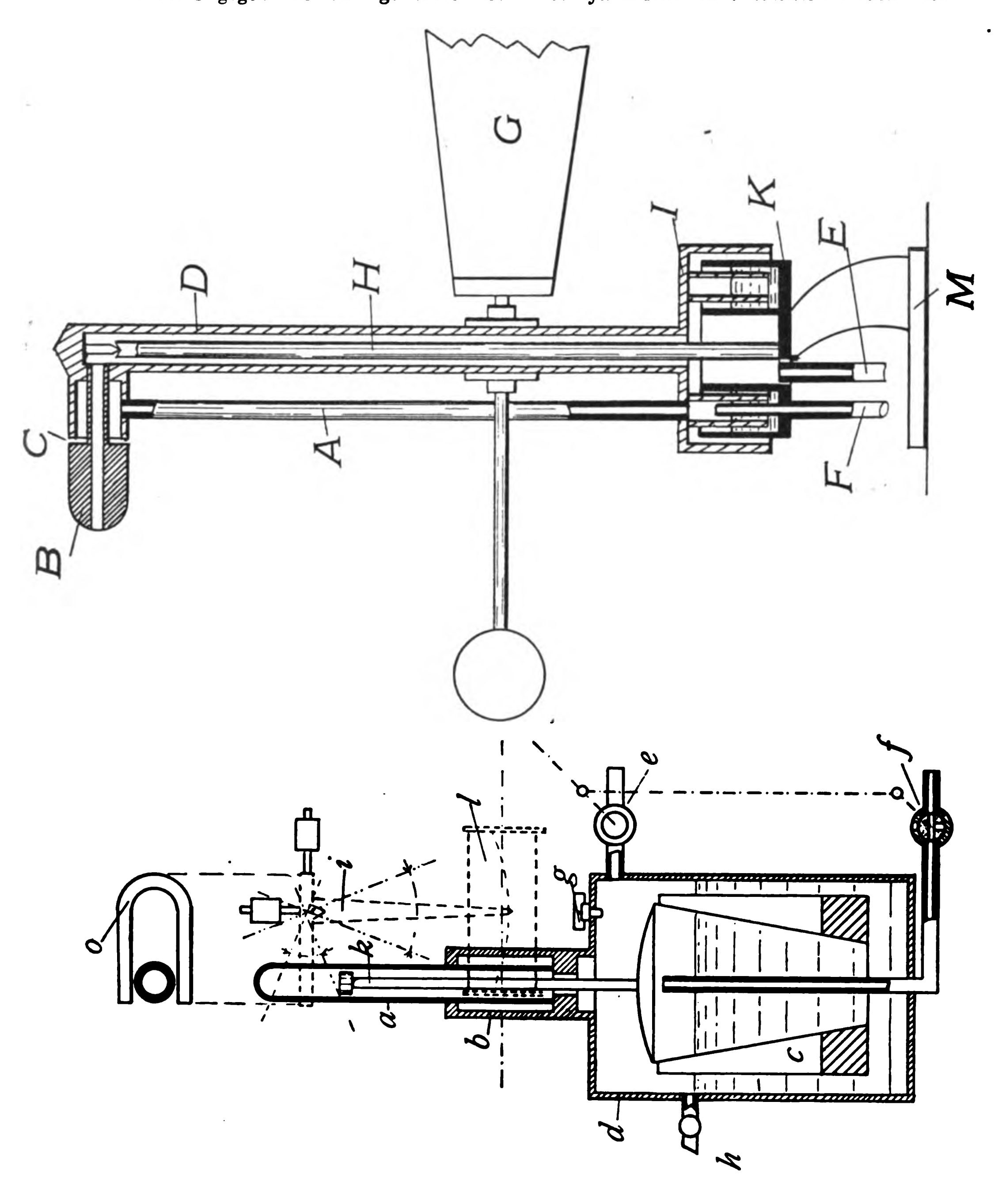
An einem Wollaston-Draht von 2 μ Stärke und 50 mm Länge hängt das bewegliche, mit Spiegel versehene System, aus einem horizontalen Aluminiumdraht von 0,2 mm Dicke und 10 mm Länge bestehend, mit scheibenartig verbreiteten Enden. Gegen diese Scheiben sind zwei Düsen von 0,5 mm Öffnung gerichtet, die an die zu messende Druckdifferenz angeschlossen sind. Der Abstand der Düsen von dem Gehänge beträgt etwa 1 mm. Sie blasen also an das eine Scheibchen und saugen das andere an. Das Ganze ist gegen Luftströmungen, Erwärmung und gegen elektrische und magnetische Einwirkung sehr gut abgeschirmt. Die Ablesung der Einstellung erfolgt mit Spiegel und Skala. Die Empfindlichkeit des Instruments ergab sich zu $2{,}7 \cdot 10^{-8}$ mm Hg für 1 mm Ausschlag und 2 m Skalenabstand. *Block.*

Digitized by Google

Ein neuer hydrostatischer Windmesser.

Von R. **Fueß** in Berlin-Steglitz. *Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ing.* **68.** *S. 933. 1924.*

Das beschriebene Gerät, das durch die beiden Skizzen dargestellt wird, besteht aus einem Staurohr bekannter Art, *BCD*, das um die vertikale Stange *H* drehbar gelagert ist, und durch eine Windfahne *G* gegen den Wind gerichtet wird. Der dynamische bzw. statische Druck wird



durch die Rohre *D* bzw. *A* auf das mit dem Staurohr verbundene Kammersystem *JK* übertragen, das mit Quecksilber abgedichtet ist, und aus dem dann die Drücke durch die beiden festen Rohre *E* und *F* zum eigentlichen Anzeigegerät weitergeleitet werden. Dieses selbst ist nach Art der bekannten Tauchschwimmer ausgebildet; c ist der Schwimmer, der bei wechselnder Druckdifferenz

Digitized by Google

zwischen beiden Rohren gehoben und gesenkt wird, und an einer Stange *k* ein Eisenstück in einem luftdicht übergestülpten Glasrohr mitbewegt. An einem einem Waagebalken ähnlichen Stück befindet sich ein U-förmiger Stahlmagnet, der um das Glasrohr herumgreift, so daß der Waagebalken den Bewegungen des Schwimmers leicht folgt. Er trägt einen Zeiger *i* mit Schreibfeder, die auf eine Registriertrommel *l* schreibt. Die mit Rücksicht auf das Staurohr an sich quadratische Skala wird durch geeignete Formung des Schwimmers linear gemacht. *Block.*

Erfinder und Name des Aneroids.

Von G. Hellmann, *Meteorolog. Zeitschr.* **41.** *S. 151. 1924.*

Verf. weist auf die Unsicherheit hin, welche bisher sowohl dem Ursprung des Wortes Aneroid wie der Schreibweise seines Erfinders anhaftet.

Das *Dictionnaire général de la langue française* von Hotzfeld, Darmestetter und Thomas leitet das Wort Aneroid, das im Französischen nur als Adjektiv *(baromètre aneroïde)* vorkommt, während es im Deutschen und Englischen selbständig geworden ist, aus den griechischen Bestandteilen *ἀ* (privativum), *νηρός* und *εἶδος* ab, d. i. „nicht feucht“. Grimsehl führte es auf *ἀ* und *νότερος* zurück, während J. Loisel in einer bei Gauthier-Villars erschienenen Monographie *ἀ* und *ἀήρ* als etymologische Bestandteile angibt, was von Hellmann verworfen wird.

Der Erfinder des Aneroids schrieb sich nicht Vidi, wie oft angenommen wird, sondern nach einer von Laurent verfaßten Biographie aus dem Jahre 1867 Vidie. Lucien Vidie wurde 1804 in Nantes geboren und starb 1866 in Paris. Ursprünglich Advokat, beschäftigte er sich später nur mit physikalisch-technischen Versuchen und erhielt 1844 das französische Patent auf das von ihm auch als *baromètre sans liquide* bezeichnete Instrument. *G.*

Messung von Schall-Druckamplituden.

Von Erwin Gerlach, *Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konzern III.* **1.** *S. 139. 1923.*

Es wird eine Anordnung beschrieben, mit der sich die Druckamplituden eines Schallvorganges mittels einer Nullmethode auch bei sehr kleinen Schallintensitäten in absolutem Maß messen lassen. Der zu messende Schall fällt auf eine bandförmige Aluminiummembran von einer Dicke von einigen Mikron. Die Membran ist in einem durch Dauermagneten erzeugten, annähernd homogenen Magnetfelde so angeordnet, daß ihre Längsausdehnung senkrecht, ihre Querausdehnung parallel zu den Feldlinien liegt. Ein die Membran durchfließender Strom übt daher eine senkrecht zur Membranoberfläche gerichtete Kraft auf diese aus. Durch Einregulierung der Frequenz, Amplitude und Phase dieses Stromes läßt sich die durch das Schallfeld hervorgerufene Bewegung der Membran in meßbarer Weise kompensieren.

Das Verfahren wird zur Untersuchung der akustisch-elektrischen Verhältnisse in Telephonen angewendet. Das der Membran gegenübergestellte Telephon wird aus dem einen, die Membran aus dem anderen Anker einer Frankeschen Maschine gespeist. Die Frequenzgleichheit wird dadurch zwangläufig erreicht. Nach Abgleichung des Stromes in der Membran ist durch ein hinter der Membran angebrachtes Hörrohr kein Ton mehr wahrzunehmen. Für verschiedene Fernhörer kann man daher bei gleichem Strom in der Membran durch Bestimmung der für ihren Betrieb erforderlichen Leistung Gütevergleichszahlen gewinnen. Durch Bestimmung der Konstanten des Apparates läßt sich dieser auch in absolutem Maße eichen.

Eine Verbesserungsmöglichkeit des Schallmeßapparates ergibt sich durch Anwendung einer Brückenschaltung, deren Empfindlichkeit durch einen Röhrenverstärker im Indikatorzweig gesteigert werden kann.

Die Methode hat den großen Vorzug der Unabhängigkeit von der Frequenz. Resonanzlagen der Membran beeinflussen nur die Meßgenauigkeit. *Zickner.*

Objektive Klangaufzeichnung mittels des Kondensatormikrophons.

Von Ferdinand Trendelenburg. *Wissenschaftl. Veröffentl. a. d. Siemens-Konzern. III.* **2.** *S. 43. 1924.*

Die zur objektiven Aufzeichnung von Klangbildern in erster Zeit verwendeten Membranen hatten den Fehler, daß ihre Eigenschwingung zu weit unterhalb der für die Sprachlaute charak-


Digitized by Google

teristischen höheren Teiltöne lag und ihre verhältnismäßig geringe Dämpfung Verzerrungen in der Wiedergabe mit sich brachte. Diese zeigen sich auch bei elektrischen Schallempfängern, bei denen eine Eigenfrequenz nicht besteht oder oberhalb des Sprachgebietes liegt, wenn sie mit Niederfrequenzverstärkung arbeiten.

Um die feinere, auch persönliche Struktur der Sprache wiedergeben zu können, benutzt Verf. ein von Riegger (Forschungslaboratorium Siemensstadt) konstruiertes Kondensatormikrophon. Die eine Belegung bildet eine mit Schlitzen versehene Metallplatte, durch die der Schall auf die $^1/_{10}$ mm entfernte andere Belegung trifft, eine zwischen zwei dünnen Seidenmembranen gehaltene Aluminiumfolie von $^1/_2\,\mu$ Stärke; 2 mm hinter dießer schließt eine starre Rückwand den Schallempfänger ab. Die zwischen den Seidenmembranen befindliche Metallfolie besitzt keine Eigenspannung, und wird nicht, wie bei dem von Wente angegebenen Kondensatormikrophon durch radiale Zugspannungen beansprucht. Die gesamte Direktionskraft hat ihren Sitz in dem Luftpolster. Die Membranamplitude ist bis zur oberen Grenze des Sprachgebiets — etwa 5000 Schwingungen pro sec — der Amplitude der auftretenden Druckschwankungen proportional. Die Dämpfung wird als 8 mal so groß als bei der Konstruktion von Wente angegeben. Infolgedessen kann die Eigenfrequenz mehr der oberen Grenze des Sprachgebiets genähert werden, ohne daß ein Aufschaukeln der Schwingungsamplituden infolge Annäherung an die Eigenfrequenz eintritt, was eine größere Empfindlichkeit der Anordnung bedingt.

Die Frequenzmodulationen dieses in einen Schwingungskreis gelegten kapazitiven Mikrophons beim Auftreffen von Schallwellen werden mit Hilfe von Schwebungen vergrößert. Hierzu wird der Kondensator in einen von zwei Röhrensenderkreisen von etwa $6 \cdot 10^6$ Schwingungen pro sec gelegt, die so gegeneinander verstimmt sind, daß ihre Schwebungswelle weit oberhalb des akustischen Bereichs im Hochfrequenzgebiet liegt (60000 $\sec^{-1}$). Diese Schwebungen werden in einer Spule erregt, die mit beiden Röhrensendern lose gekoppelt ist, darauf von einem Gleichrichter gleichgerichtet, von einem Resonanzkreis herausgesiebt, in einem geeigneten Hochfrequenzverstärker verstärkt und endlich einem Gleichrichter zugeführt, in dessen Anodenkreis der Oszillograph liegt. Die Anordnung umgeht die Anwendung kurvenverzerrender Niederfrequenzverstärker- und Transformatoren und gestattet eine kurvengetreue Abbildung der Druckschwankungen im Schallfeld. Einer Amplitude der Aluminiumfolie innerhalb $^1/_{10}\,\mu$, die hinreicht, um die Resonanzkurve der Schwebungswelle auszusteuern, entspricht eine Wechselstromamplitude von 5 Milliamp. im Oszillographen, eine Kurvenamplitude von etwa 11 mm auf dem photographischen Papier. Letzteres bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 3 bis 4 m.

Die Schwingungszahlen der in etwa 30 cm Entfernung von dem Mikrophon, ohne Anwendung eines Schalltrichters gesungenen Töne wurden auf 1 bis 2% genau mit Hilfe des gleichzeitig aufgenommenen Strombildes einer Franke-Wechselstrommaschine ermittelt, deren Frequenz am Frequenzmesser abgelesen wurde. Zur Auswertung der erhaltenen Kurven wurden überschlägig die charakteristischen Teiltöne durch Auszählen bestimmt, darüber hinaus auf analytischem Wege die Koeffizienten der Fourierschen Reihe der Klangbilder berechnet, unter Benutzung des schnell und hinreichend genau arbeitenden Verfahrens von Zipperer, das 24 Ordinaten berücksichtigt.

Die Aufnahmen (Hauptvokale und Zischlaute) bestätigen erneut, daß der Vokalcharakter auf dem Vorhandensein von Teiltönen in ganz bestimmten Tonregionen, sog. Formanten, beruht, unabhängig von der durch den Grundton bestimmten Tonhöhe des Vokals (Helmholtz, Stumpf). Außer dem bisher graphisch nachgewiesenen Formantenbereich des Vokals *A* zwischen 650 und 800 $\sec^{-1}$, dessen Teiltöne den Grundton sogar an Stärke übertreffen, wird ein zweites, bereits von Stumpf mit Resonanzgabeln subjektiv festgestelltes höher gelegenes Formantengebiet bei 3000 $\sec^{-1}$ objektiv bestätigt. Für *O* und *U* werden neue Gebiete in derselben Gegend aufgewiesen. Diese hohen Schwingungen hat bereits Hermann bei seinen phonautographischen Aufnahmen als kleine Zacken wahrgenommen, auch in die richtige Region verlegt, jedoch, da sie nur bisweilen auftraten, auf Rechnung von Eigenschwingungen der Membran gesetzt. Durch Variierung der Abstimmung des Membransystems (Änderung des Volumens des Luftpolsters) stellt Verf. fest, daß die beobachteten hohen Teiltöne nicht durch Resonanzerscheinungen vorgetäuscht sind, sondern reelle Existenz besitzen.


Digitized by Google

Diese hohen Teiltöne sind jedoch nicht unbedingt notwendig, um den Vokal als solchen für das Ohr zu kennzeichnen, bedingen vielmehr die persönliche Klangfarbe. Ein Oszillogramm enthält die Gegenüberstellung eines *A*, aufgenommen mit dem Kondensator- und mit dem Postmikrophon. Hier fehlt die Feinstruktur, die persönliche Klangfarbe, die in den hohen Frequenzgebieten liegt, doch reichen die vorhandenen Teiltöne des tieferen Formantbereichs aus, um den Klang zu einem *A* zu stempeln. Für die Nachrichtenübermittelung genügt im allgemeinen die einigermaßen gleichmäßige Übertragung und Wiedergabe des Frequenzbereichs zwischen 700 und 2100 sec^{-1}, da Übung und Kombinationsgabe dem Verständnis der in ihrem Klang eingeengten Sprache zu Hilfe kommen. Dieser Umstand macht sich bemerkbar bei fremdsprachlichem Verkehr, wo wir auch bei Beherrschung der Sprache nur schwer verstehen, und z. B. in folgendem Falle. „Wir werden angerufen und verstehen den Namen des Anrufenden nicht, wir stehen dem Inhalt des Gesprächs zunächst verständnislos gegenüber, bis uns ein verstandenes, für den Zusammenhang wichtiges Wort zeigt, um was sich das Gespräch handelt und wir so auf die Person des Anrufenden schließen können; mit diesem Augenblick haben wir den Überzetzungsschlüssel: Telephonklangfarbe — persönliche Klangfarbe gewonnen und können mühelos den Sprachinhalt erfassen."

Für die Zwecke einer naturgetreuen Klangübertragung ist die richtige Wiedergabe eines Frequenzbereichs von 50 bis 5000 sec^{-1} erforderlich. Die beschriebene Anordnung soll für alle wissenschaftlichen und praktischen Zwecke der Lautübertragung und -aufzeichnung dienen, insbesondere auch als Lautsprecher und als Hilfsmittel zur Beurteilung der Güte der Lautwiedergabe anderer Vorrichtungen, indem man das Klangbild des natürlichen und das des künstlichen Klanges gleichzeitig aufnimmt und analysierend vergleicht. *Ct.*

Wirkungsweise und Anwendung des Thermophons.

Von Ferdinand Trendelenburg. *Wissensch. Veröff. a. d. Siemens-Konzern III.* **1.** *S. 212—225, 1923.*

Unter einem Thermophon versteht man eine Anordnung, in welcher in einem Leiter fließende Wechselströme vermittelst der dadurch hervorgerufenen Temperaturschwankungen des Leiters in der umgebenden Luft Schallwellen auslösen. In Anlehnung an theoretische Arbeiten von Arnold und Crandall sowie von Wente wird die Entstehung der Schallwellen in folgender Weise erklärt: Die Temperaturschwankungen des Leiters, die der Periode der Wechselleistung folgen, teilen sich durch Wärmeleitung der unmittelbar an den Leiter grenzenden Luftschicht mit und dringen als örtlich stark gedämpfte Temperaturwellen in die Umgebung ein. Hier rufen sie auf Grund der Gasgesetze Druckschwankungen hervor, welche sich als Schallwellen ausbreiten. Bei Überlagerung von Gleichstrom genügender Intensität haben die Temperaturschwankungen die halbe Frequenz der Wechselleistung, also die Stromfrequenz.

Der Zusammenhang zwischen den Daten der Anordnung, der Stromstärke und der erzeugten Schallintensität wird auf Grund obiger Vorstellungen theoretisch abgeleitet und für eine Reihe verschiedener Leitermaterialien durch Vergleichung mit einem Telephon experimentell geprüft, wobei sich zwischen Theorie und Versuch eine sehr befriedigende Übereinstimmung ergibt. Die schallerzeugenden Leiter hatten die Form kurzer, dünner Drähte. Der Einfluß des umgebenden Gases wird gleichfalls untersucht.

Bezüglich der Umsetzung mehrwelliger Ströme in akustische Wellen (Sprachübertragung) ergibt sich, daß das Thermophon zwar dem elektromagnetischen Telephon an Klangreinheit überlegen ist, da keine bevorzugte Wiedergabe einzelner Frequenzen stattfindet; doch kann auch beim Thermophon von einer absolut lautgetreuen Wiedergabe nicht gesprochen werden. Zur Erzielung großer Lautstärke ist es wichtig, bei kleiner Wärmekapazität des Stromleiters große Leistung in einem möglichst kleinen Schallraum umzusetzen. Man bringt daher den stromdurchflossenen Haardraht in einem so engen Raum unter, daß die örtlich stark gedämpften Temperaturwellen sich eben noch ausbilden können. Der aus Hartgummi hergestellte Schallraum hatte z. B. in einem Falle die Dimensionen $10 \times 4 \times 2$ mm³.

Infolge des sehr geringen Wirkungsgrades der Anordnung kann sich der Einsatz eines Thermophons anstelle eines gewöhnlichen Telephons nur in denjenigen Gebieten der Fernmeldetechnik


Digitized by Google

lohnen, wo auf klangreine Übertragung großer Wert gelegt wird und wo die benötigte beträchtliche elektrische Leistung zur Verfügung steht. Doch ist das Instrument als Meßapparat für den Laboratoriumsgebrauch vielfach von Vorteil. Als Beispiel einer derartigen Anwendung wird eine Methode zur Aufnahme der Resonanzkurven von Telephonmembranen angegeben. Telephon und Thermophon werden aus den beiden Ankern einer Frankeschen Maschine gespeist und durch Stromeinstellung auf Gleichheit der Tonintensität einreguliert. Aus den beobachteten Stromwerten läßt sich alsdann in Verbindung mit der Frequenz die Resonanzkurve des Telephons ermitteln.

Zickner.

Über den Einfluß der sphärischen Aberration auf die Lokalisierung von Bildpunkten.

Von E. Lihotzky. *Centr.-Ztg. f. Opt. u. Mech.* **17.** *S. 207. 1924.*

Ein mit sphärischer Aberration behaftetes Linsensystem liefert keine scharfe Abbildung, da jeder Punkt des Objekts als Zerstreuungsscheibchen in das Bild eingeht. Schon Gauß hat als Maß der Totalundeutlichkeit den Ausdruck $2\pi\int_0^R r^2 i\, r\, d r$ definiert, worin r den Abstand des betrachteten Bildelementes des Zerstreuungsscheibchens von der Achse, i die spezifische Energiebelegung in der Auffangebene bedeuten. Zu diesem Ausdruck gelangte Gauß auf rein geometrisch-optischem Wege ohne Berücksichtigung der Beugungstheorie. Ob dieser Weg erlaubt ist, kann nur durch den Versuch entschieden werden. Führt man die Längsaberration Δs und den bildseitigen Neigungswinkel u ein, so wird obiger Integralausdruck proportional $\int_0^u (\Delta s - z)^2 u^3\, d u$. Hierin bedeutet z den Abstand der Auffangebene vom Gaußischen Bildpunkt. Eine leichte Rechnung ergibt, welcher Wert von z den Integralausdruck zum Minimum macht, wenn die Neigungswinkel durch den Winkel U infolge Blende oder Linsenrand begrenzt sind und die Längsabweichungen Δs für den Winkel $\bar{u}$ ihren Extremwert annehmen. Man findet dafür $Z = \Delta \cdot \left[\frac{4}{3}\left(\frac{U}{\bar{u}}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\frac{U}{\bar{u}}\right)^4\right]$ oder $Z = 2\Delta \cdot \left[\frac{4}{3}\left(\frac{U}{u_0}\right)^2 - \left(\frac{U}{u_0}\right)^4\right]$, wo u_0 der Neigungswinkel für die korrigierte Öffnung ist.

Andererseits läßt sich das Minimum der Totalundeutlichkeit auch in bezug auf die Variable $\frac{U}{\bar{u}}$ bzw. $\frac{U}{u_0}$ bestimmen. Gauß hat hierfür den Wert $\frac{U}{u_0} = \frac{1}{1{,}095}$ angegeben. Demnach wäre randliche Unterkorrektion von Vorteil. Jedoch in dieser Aussage liegt eine Problematik. Man kann nämlich annehmen, daß es möglich sei, eine Reihe von Linsenkonstruktionen anzugeben, die sich nur in ihrem sphärischen Korrektionszustand unterscheiden. Die Aberrationen seien, wie meistens, dargestellt durch $\Delta s = a u^2 + b u^4$ mit variablen a und b. Um über den günstigsten Korrektionszustand etwas aussagen zu können, ist es nötig, über den bei der Veränderung des Korrektionszustandes sich ergebenden Zusammenhang zwischen a und b eine besondere Voraussetzung zu treffen. Gauß formuliert diese Voraussetzung so, daß er $b =$ konst. setzt, was praktisch sicher nicht zutrifft. K. W. F. Kohlrausch macht dafür die andere Voraussetzung, daß $\Delta = -\frac{a^2}{4b} =$ konst., also die Aberration der sphärischen Zone konstant bleibe. Er bekommt dann statt der obigen Zahl 1,095 den Wert 1,145. Diese Annahme trifft aber auch nicht zu. Verf. untersucht nun, ob wirklich ein bestimmter Zusammenhang zwischen a und b vorhanden ist, und findet auch einen solchen. Er schreibt die von Gauß und Kohlrausch gemachten Annahmen in der gemeinsamen Form

$$\frac{\Delta}{\bar{u}^p} \text{ bzw. } \frac{\Delta}{u_0^{\,p}} = \text{konst.}, \qquad \left[u_0 = \sqrt{\frac{-a}{b}}\right]$$

Bei Gauß ist $p = 4$, bei Kohlrausch $p = 0$. Verf. findet aber, daß bei Korrektionsänderungen mit Hilfe von Durchbiegungen $p = 3$ zu setzen ist. Dann ergibt sich als günstigstes Verhältnis der Wert $\frac{U}{u_0} = \frac{1}{1{,}107}$, der also von dem Gaußischen nur sehr wenig abweicht.


Digitized by Google

Um das Maß der Undeutlichkeit zu bestimmen, bedient sich Verf. einer neuen Methode. Anstatt die Verteilung des Energiebelags in verschiedenen Auffangebenen zu untersuchen, tut er dies nur längs der Achse und bedient sich im übrigen des **Gauß**ischen Ansatzes, betrachtet also jene Fälle, in denen der obige Integralausdruck zum Minimum wird. Indem nur die durch den paraxialen Bildpunkt gelegte Auffangebene betrachtet wird, ergibt sich nun als Maß der Undeutlichkeit ein Werk proportional

$$J^2 \cdot \left\{ \left(\frac{U}{\bar{u}}\right)^3 - \left(\frac{U}{\bar{u}}\right)^4 + \frac{4}{15}\left(\frac{U}{\bar{u}}\right)^5 \right\}.$$

Der erste Differentialquotient dieses Ausdrucks nach $\frac{U}{\bar{u}}$ verschwindet, wenn für $\frac{U}{u_0}$ der Wert $\frac{U}{u_0} = \frac{1}{1,033}$ gesetzt wird. Dies gilt für $\frac{\Delta}{\bar{u}^p} =$ konst. und $p = 3$. Würde man nach **Gauß** $p = 4$ setzen bzw. nach **Kohlrausch** $p = 0$, so erhielte man

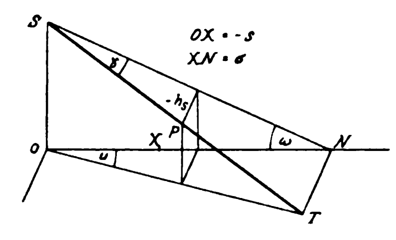
$$\frac{U}{u_0} = \frac{1}{1,016} \text{ bzw. } \frac{1}{1,155}.$$

Verf. findet also auch randliche Unterkorrektion zweckmäßig, wenn auch von geringerem Betrage als **Gauß** verlangt. *Flügge.*

Durchrechnungsformeln für windschiefe Strahlen.

Von **F. Staeble**, *Central-Ztg. f. Opt. u. Mech.* **45.** *S. 149—151; S. 163—166. 1924.*

Verf. teilt Formeln und Rechenschemas mit, wie sie in dem Dr. **Staeble-Werk**, München, zur praktischen Durchrechnung windschiefer Strahlen in Gebrauch sind. Der Rechnung liegt folgender Gedankengang zugrunde:



„Für eine dingseitige Hauptstrahlneigung ω und eine Eintrittspupillenmitte N im Abstand σ vom ersten Flächenscheitel X sei der Hauptstrahl SN der astigmatischen Durchrechnung als gegeben betrachtet und als in der Aufrißebene (Zeichenebene) liegend angenommen; S sei der Dingpunkt. Auf dem Hauptstrahl SN ist die zum Aufriß senkrechte Ebene SNT errichtet mit ST als windschiefem Strahl von dem Öffnungswinkel γ, der die erste Fläche im seitlichen Abstand h_s trifft. Wird diese Öffnung γ bzw. der Abstand h_s unendlich klein gewählt, so erhält man auf dem astigmatischen Hauptstrahl nach der Durchrechnung als Bildpunkt den Sagittalpunkt. Ebenso wie bei einem gewöhnlichen sphärischen Strahl von gegebenem Öffnungswinkel (Einfallshöhe) die Abweichung gegenüber dem auf der optischen Achse gelegenen Bildpunkt bestimmt wird, so besteht hier — ohne Beeinträchtigung der Allgemeinheit — die Aufgabe darin, den obigen Strahl ST durch das System zu verfolgen und seine Aberration gegenüber dem Sagittalpunkt zu berechnen. Die Durchrechnung der $\sigma\omega$-Werte wird sich daher nie sehr weit von den Werten des astigmatischen Hauptstrahls gleicher Neigung und gleicher Eintrittspupille, die Durchrechnung der u-Werte nie sehr weit von der gewöhnlichen sphärischen Durchrechnung gleicher Öffnung (Einfallshöhe) entfernen."

Als Schlußwerte der Rechnung werden die „sphärische Abweichung" und der „Rinnenfehler" des windschiefen Strahls gewählt. Dies hat den Vorzug einer bequemen Durchrechnung und einer Darstellung in rechtwinkligen Koordinaten, vom Sagittalpunkt ausgehend. Gehören zur gleichen Hauptstrahlneigung mehrere windschiefe Strahlen, so läßt sich eine Fehlerkurve, vom Sagittalpunkt ausgehend, sehr leicht konstruieren. Hierzu schlägt Verf. vor, die Öffnungen aus Rücksicht auf die Gangdifferenz im Verhältnis $\sqrt{1} : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \ldots$ zu wählen. Die so erhaltene Fehlerkurve ist in erster Näherung ein vom Sagittalpunkt einseitig ausgehender Parabelbogen, der mit dem astigmatischen Bild-Hauptstrahl einen spitzen Winkel einschließt. Bei Korrektion der sphärischen Abweichung besitzt der Parabelbogen eine vertikale Tangente, bei Korrektion des Rinnenfehlers eine horizontale. *Flügge.*

Digitized by Google

Methode zur Bestimmung und Messung von Aberrationen optischer Systeme.

Von M. L. Lenouvel, *Revue d'Optique* **2.** *S. 211—243 und S. 315—333. 1924.*

Nahe der Brennebene des zu untersuchenden Objektivs O (Fig. 1) befindet sich ein enges Geflecht paralleler Fäden T, von dem ein kleines kreisförmiges Gebiet durch eine punktförmige monochromatische Lichtquelle S beleuchtet wird. Der Spiegel V ist so gestellt, daß der Lichtkreis auf den Fäden mit seinem Bilde durch Autokollimation übereinstimmt. Wird das Auge in den Strahlengang gebracht, so sieht es, scheinbar auf den Linsen, ein System heller und dunkler Streifen, deren Zahl mit der Anzahl der beleuchteten Fäden übereinstimmt. Dieses Streifensystem kommt folgendermaßen zustande: angenommen, die Fadenebene befindet sich um eine gewisse kleine Strecke L hinter der Brennebene des zunächst als korrigiert vorausgesetzten Objektivs; dann entsteht durch Autokollimation das Bild in einer Ebene, die um denselben Betrag L vor der Brennebene des Objektivs liegt. In der Fadenebene selbst wird das Bild unscharf, da hier jeder Punkt des Fadengeflechts als kleiner Zerstreuungskreis abgebildet wird. Die Folge ist, daß sich den Fäden ein System heller und dunkler Zerstreuungskreise überlagert und das Auge in der Fadenebene nicht mehr scharf abgegrenzte Fäden sieht, sondern einen von den hellsten zu den dunkelsten Streifen stetigen Helligkeitsabfall wahrnimmt. Die Streifen sind parallel und gleich weit voneinander entfernt, wenn das Objektiv frei von Abweichungen ist. Besitzt es dagegen Fehler, so werden die Streifen komplizierter. Wenn die Fadenebene der Brennebene genähert wird, rücken die Streifen auseinander und verschwinden ganz, sobald die Brennebene mit der Fadenebene zusammenfällt.

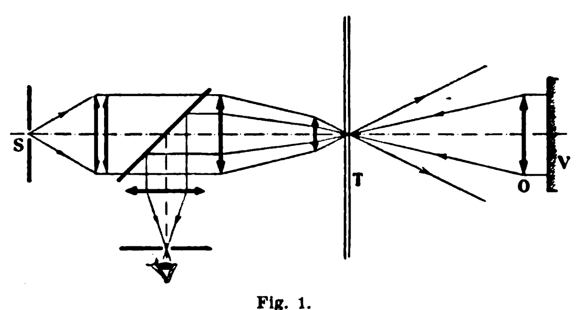


Fig. 1.

Das Objektiv habe sphärische Aberration. Der Zone H (Fig. 2) entspreche der Brennpunkt F_h. Nach dem vorhergehenden ist $AF_h = F_h A'$. Der Radius H bildet sich in der Fadenebene als Radius r ab. Der Brennpunkt F_h liegt dann an derjenigen Stelle der Achse, wo der Strahl eine seitliche Abweichung vom Betrage $r/2$ zeigt. Das r läßt sich sehr leicht bestimmen, wie gleich gezeigt werden wird, und infolgedessen ist eine Konstruktion der Aberrationskurve sehr einfach. Das Bild der dunklen Streifen ist im Fall der einfachen sphärischen Aberration ein ganz typisches. Die Streifen liegen immer nahezu symmetrisch und parallel zu einer durch die Objektivmitte verlaufenden senkrechten Achse. Wenn die Fadenebene außerhalb der paraxialen Brennebene liegt, so sind die Streifen nebeneinander geordnet in derselben Reihenfolge wie in der Fadenebene die Fäden; nicht viel anders wird das Bild, wenn die Fadenebene mit der Gaußischen Brennebene zusammenfällt, nur zeigt sich dann in der Mitte des Objektivs ein breites Gebiet gleichmäßiger Helligkeit, weil jetzt die Brennebene der Objektivmitte in die Fadenebene fällt. Liegt die Fadenebene innerhalb der Kaustik fällt sie also mit der Brennebene einer gewissen Zone H zusammen, so sind in dieser Zone symmetrisch zu der senkrechten Mittelachse zwei gleichmäßig helle Gebiete, die von einigen in sich geschlossenen Streifen umgeben sind; nach außen hin schmiegen sich noch ungeschlossene Streifen an. Nummer und Zone der Streifen lassen sich leicht bestimmen. Wenn auf der Zone H der p^{te} Streifen liegt, so ist das r in der Fadenebene der Abstand des p^{ten} Fadens von der Mitte. Bei bekannter Anordnung der Fäden ist also auch das r gegeben.

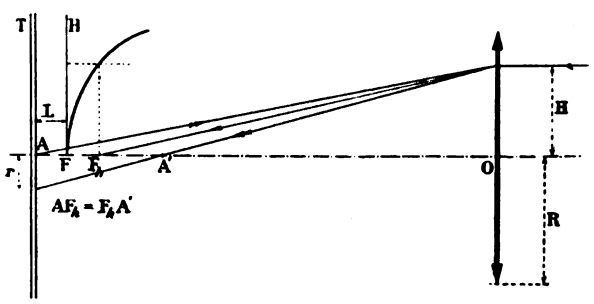


Fig. 2.

Digitized by Google

Die chromatischen Fehler eines Objektivs lassen sich ebenfalls nach der beschriebenen Methode bestimmen. Man könnte für verschiedene monochromatische Lichtquellen die sphärischen Aberrationen einzeln bestimmen. Zweckmäßiger ist aber die Verwendung einer polychromatischen Lichtquelle und die Zerlegung des vielfarbigen Streifenbildes in Einzelfarben durch ein geradsichtiges Prisma.

Verf. untersucht nach dieser Methode eine einzelne achromatische Linse, eine aus zwe Gläsern zusammengesetzte achromatische Linse und einen Anastigmat Tessar Zeiss auf sphärische und chromatische Aberration sowie Koma. Er stellt seine Untersuchungen photographisch an und vergleicht die durch das Experiment gewonnenen Resultate mit den aus den Daten des Objektivs erhaltenen, wobei sich gute Übereinstimmung ergibt. Leider gibt Verf. aber nicht an, wie groß die Genauigkeit seiner Methode ist, so daß sich ein Vergleich mit der bisher üblichen Hartmannschen Methode und der neueren Väisäläschen Interferenzmethode nicht anstellen läßt.

Verf. baut seine Untersuchungen auf rein geometrisch-optischer Grundlage auf; nachträglich zeigt er aber, daß dieselben Resultate erhalten werden auf den der Wirklichkeit entsprechenden beugungstheoretischen Voraussetzungen. Allerdings gilt dies nur für nicht zu enge Fadengeflechte, d. h. nicht mehr als 10 Fäden pro mm. Bei photographischen und Fernrohrobjektiven genügt diese Zahl. Aber zur Untersuchung von Mikroskopobjektiven sind verhältnismäßig enge Geflechte notwendig (20 bis 30 Fäden pro mm), so daß die Methode sich hier von den wirklichen beugungstheoretisch verbürgten Verhältnissen entfernt. Verf. gibt deshalb eine geeignete Abänderung seiner Methode an. *Flügge.*

Über eine weitere Interferenzanordnung zur Prüfung optischer Systeme.

Von E. Bratke und E. Waetzmann. *Zeitschr. f. Physik* **19.** *S. 253. 1923.*

In den *Ann. d. Phys.* **39.** *S. 1042. 1912* beschrieb Waetzmann eine „Interferenzmethode zur Untersuchung der Abbildungsfehler optischer Systeme“. Diese Methode war aufgebaut auf Untersuchungen Lummers, die dieser aber nur auf den Fall ideal abbildender Linsen beschränkt hat. Die Waetzmannsche Interferenzmethode legte sich nicht diese Beschränkung auf; jedoch litt sie an dem Nachteil, vorerst nur qualitative, keine quantitativen Vorstellungen von den Abbildungsfehlern zu liefern. Die quantitative Durcharbeitung der Methode wurde von Bratke in einer Dissertation „Über die Waetzmannsche Interferenzmethode zur Untersuchung optischer Systeme“, Breslau 1922, geleistet. Dabei stellte sich eine Schwierigkeit heraus, die darin bestand, daß in der Waetzmannschen Methode die beiden interferierenden Strahlen zweimal durch die zu untersuchende Linse gehen, und zwar im allgemeinen unsymmetrisch zur optischen Achse, also in verschiedenen Zonen. Um den Korrektionszustand in den einzelnen Zonen berechnen zu können, war man daher auf Mittelbildung angewiesen. Die erhaltenen Resultate waren infolgedessen, wenn auch noch gut, so doch der Verbesserung bedürftig. Aus diesem Grunde heraus beschreiben die Verf. eine abgeänderte Anordnung, die mit zwei Linsen und zwei planparallelen Platten arbeitet. Dabei muß der Korrektionszustand der einen Linse genau bekannt sein. Um weiteren Schwierigkeiten zu entgehen, müssen ferner sowohl die Brennweiten beider Linsen als auch die Dicken der beiden planparallelen Platten möglichst wenig verschieden sein. Die unter Beachtung dieser Forderungen hergestellten Interferenzbilder geben eine anschauliche quantitative Vorstellung von den Abbildungsfehlern der untersuchten Linsensysteme. *Flügge.*

Über die Messung der vertikalen Sicht.

Von A. Wiegand und K. Genthe. *Physikal. Zeitschr.* **25.** *S. 26. 1924.*

In Ergänzung einer früheren Veröffentlichung über die Bestimmung der Durchsichtigkeit der Luft in horizontaler Richtung[1]) machen die Verf. jetzt Mitteilung über die zur Feststellung der Luftteilung in senkrechter Richtung anzuwendende Methode.

Während bei Beobachtung in horizontaler Richtung die Entfernung des beobachteten Objektes leicht feststellbar ist, muß bei Messungen in vertikaler Richtung die Entfernung, Höhe und

[1]) Referat in *dieser Zeitschrift* **44.** *S. 470. 1924.*


Digitized by Google

Richtung des Objektes, als welches Pilotballone dienten, mittels eines Theodolithen festgestellt werden. Derselbe Beobachter konnte nicht gleichzeitig auch die Lichtmessung vornehmen. Deshalb dient zu letzterer ein zweiter Pilotballontheodolith, vor dessen Objektiv der Lichtmesser angebracht wurde. Als solcher diente eine an dem Objektiv drehbare Scheibe mit acht Mattgläsern von verschiedener Durchsichtigkeit, oder auch ein Trübungskeil in Kreisform, der erlaubt, die künstliche Trübung des Lichtmessers stetig zu verändern.

Ein Umstand ist noch besonders zu beachten, der nämlich, daß das zu beobachtende Objekt, der Pilotballon, nicht im Gesichtsfelde stille steht, sondern sich bewegt. Nun liegt aber der Schwellenwert der Erkennbarkeit von bewegten Gegenständen tiefer als von ruhenden. Das Fernrohr muß also der Bewegung des Ballons folgen, so daß sein Bild scheinbar unbewegt im Gesichtsfelde erscheint.

Es werden von den Verf. einige Beobachtungsresultate mitgeteilt, welche die Durchsichtigkeit der verschiedenen übereinander gelagerten Schichten der Atmosphäre darstellen, nämlich Bodendunstschicht, Klarschichten wechselnd mit gehobenen Dunstschichten, Wolkendunstschichtne und Wolkenschichten. *H. Krüss.*

Die Fälschung der Perspektive beim Blick durch Fernrohre.

Von A. Sonnefeld. *Centr.-Ztg. f. Opt. u. Mech.* **17.** *S. 210. 1924.*

Die Fälschung der Perspektive beim Blick durch Fernrohre besteht je nach den Umständen in übertriebener Perspektive oder in Umkehrung derselben. Versuche ergaben, daß diese Veränderungen der Perspektive lediglich durch die Verzeichnung der Okulare hervorgerufen werden und zwar um so auffälliger, je größer das Gesichtsfeld ist. Die Verzeichnung der Objektive ist so gering, daß sie für die Fälschung der Perspektive unwesentlich ist. *Flügge.*

Untersuchungen über die Gleichgewichtslagen von elektrischen Meßinstrumenten.

Von Heinrich Kafka. *Wissensch. Veröff. a. d. Siemens-Konzern III. S. 144. 1923.*

In der Arbeit werden allgemeine Untersuchungen über die Güte, d. h. die Reproduzierbarkeit der Einstellung elektrischer Meßinstrumente angestellt.

Auf das bewegliche Organ eines Meßinstrumentes wirken zwei Drehmomente ein, die im allgemeinen Funktionen der Meßgröße und des Ausschlagwinkels sind. Sie werden als Meßmoment bzw. Richtmoment bezeichnet. Die Gleichgewichtslagen des Instrumentes sind dadurch bedingt, daß das aus beiden resultierende Drehmoment gleich Null wird. Durch diese Bedingung ist die Skalencharakteristik bestimmt. Die Zunahme pro Winkeleinheit des resultierenden Drehmoments beim Herausdrehen des Zeigers aus der Nullage wird als „spezifisches Einstellmoment“ bezeichnet und ergibt ein Maß für die Güte der Einstellung, da diese außerdem nur vom Reibungsmoment abhängt. Graphisch läßt sich das spezifische Einstellmoment durch die Neigung der Kurve des resultierenden Drehmoments in der Gleichgewichtslage, d. h. beim Durchgang durch die Nullinie, darstellen; mathematisch durch den partiellen Differentialquotienten des resultierenden Drehmoments nach dem Ausschlagwinkel in der Nähe der Gleichgewichtslage (bei konstanter Meßgröße).

Skalencharakteristik und spezifisches Einstellmoment stellen die Grundlagen für die Berechnung von Meßinstrumenten dar, soweit es sich um den stationären Zustand in den Gleichgewichtslagen handelt. Die abgeleiteten Beziehungen werden auf Instrumente mit mechanisch, sowie auf solche mit elektromagnetisch erzeugtem Richtmoment und auf Kreuzspulinstrumente angewendet. Für Drehspulinstrumente und Dynamometer wird z. B. das spezifische Einstellmoment gleich der Konstanten. *Zickner.*


Digitized by Google

Bücherbesprechungen.

E. v. Lommel, Lehrbuch der Experimentalphysik, 28. Aufl. XII, 686 S. m. 457 Fig. Joh. Ambrosius Barth, Leipzig, 1923.

Ein Gradmesser für den Wert eines Buches ist zweifellos die Zahl seiner Auflagen. In ganz besonders hohem Maße gilt das für ein Lehrbuch. E. v. Lommels Experimentalphysik erlebte bereits die 27. und 28. Auflage, wiederum herausgegeben von dem Professor der Physik an der Universität Gießen Dr. W. König. Das Studium der Physik gerade demjenigen zu erleichtern. der diese Disziplin als Nebenfach betreibt, haben sich viele Verf. solcher Lehrbücher zur Aufgabe gestellt. Dieses Ziel ist in dem Lehrbuch von Lommel von jeher erreicht und es wird besonders von Studierenden der Naturwissenschaft, der Medizin usw. wegen seiner klaren und leicht faßlichen Darstellung viel benutzt. Was man dem Buche besonders nachrühmen muß, ist die Vermeidung langer und schwieriger Rechnungen, ohne dabei die streng wissenschaftliche Richtung aus dem Auge zu lassen. Zahlreiche übersichtliche Darstellungen ergänzen wesentlich den Text. Daß das Buch modern ist, zeigt die Behandlung der neuesten Errungenschaften auf dem Gebiete der Physik, wie die der neuen Atomtheorie, der Quantenhypothese, Relativitätstheorie, Ostwalds Farbenlehre, des Rahbeck-Effekts usw. Auch der Nichtfachmann erhält hier einen Einblick in diese neuen Anschauungen. Angenehm empfindet der Leser, daß das Wichtige von dem weniger Wichtigen schon äußerlich durch den Druck geschieden ist. Der Übersichtlichkeit wegen würde ch es begrüßen, wenn der Verf. sich entschließen könnte, die wichtigsten Formeln durch Fettdruck und Einrücken der Zeile (z. B. 2. Hauptsatz) aus dem Text herauszuheben und sämtliche Formeln durchzunumerieren. Dadurch wird ein Hinweis auf frühere Formeln wesentlich erleichtert. Eine besondere Übersicht über die einzelnen Maßsysteme mit Angabe der Formeln, auf die sie sich stützen, erschiene mir zweckdienlich. *J. F.*

Publications of the Astronomical Observatory of the University of Michigan. *Vol. III. Ann Arbor 1923.*

Der vorliegende Band enthält eine Reihe wertvoller, meist astronomischer Untersuchungen. Eine kurze Inhaltsangabe scheint am Platze.

R. H. Curtiss untersucht in zwei Arbeiten die B-Sterne mit hellen Wasserstofflinien. Er deckt merkwürdige Beziehungen zwischen der Breite der verschiedenen Wasserstofflinien auf und findet eine Regel, nach der man aus der gemessenen Breite einer Linie auf die Breite aller anderen Wasserstofflinien schließen kann. Ferner meint er, wohl mit Recht, daß die Sterne mit hellen Linien sich durch große absolute Helligkeit auszeichnen.

R. H. Baker und F. Henroteau untersuchen zwei spektroskopische Doppelsterne, $\varkappa$ Draconis und σ Cygni, die mancherlei unerklärte Störungen aufweisen.

Henroteau bestimmt die Radialgeschwindigkeit einer Gruppe von Sternen zur Ableitung der Sonnenbewegung.

L. L. Mellor bringt eine umfangreiche Untersuchung von Sternen, deren Radialgeschwindigkeit nicht veränderlich ist.

C. C. Kiess unterwirft den merkwürdigen spektroskopischen Doppelstern und Veränderlichen α Canum venaticorum einer eingehenden Untersuchung. Es wechseln zwei Liniengruppen in Intensität miteinander ab. Die Konstitution des Systems ist aber noch gänzlich unklar.

Derselbe bestimmt die Bahnelemente des Cepheiden RT Aurigae, die eine bemerkenswerte Änderung gegen eine frühere Bestimmung aufweisen.

J. W. Hawkes bestimmt Positionen von Sternen und Nebelknoten in und um den Andromedanebel.

W. C. Rufus teilt die Registrierung von Erdbeben 1916—1921 mit.

Dann folgen von Curtiss und Rufus einige Beschreibungen besonderer Sternspektra, sowie ein Verzeichnis von neubestimmten Linien des Siliziums in B Sternen von Rufus und R. F. Paton.

Schließlich von Curtiss und D. B. McLaughlin Spektraluntersuchungen und Messungen der Radialgeschwindigkeit des Kometen 1913f, Delavan, die mit der errechneten Bahnbewegung gute Übereinstimmung zeigen. *K. F. Bottlinger.*

Digitized by Google

H. Löschner, Photopolarmethode. Festschrift der Deutschen Technischen Hochschule zu Brünn, 4⁰. S. 142—156. Brünn, Mai 1924.

Der Verfasser beschreibt als neues einfaches photogrammetrisches Kleinaufnahme-Verfahren eine Methode der „Einzelbildphotogrammetrie", die er als Photopolarmethode bezeichnet.

Die Einteilung des ganzen Gebiets der Photogrammetrie in eine „terrestrische" und eine „Aëro"-Photogrammetrie, die auch der Verf. aufstellt, ist natürlich notwendig; nur lassen die Namen zu wünschen übrig. Denn die „terrestrische" Photogrammetrie hat auch aërologische Dinge zu bestimmen (Wolkenhöhen, Formen und Höhen des Nordlichtes usf.), während die „Aëro"-Photogrammetrie ausschließlich terrestrische Verhältnisse, vor allem Lageplan und Höhenverhältnisse bestimmter Abschnitte der Erdoberfläche zu erforscheu hat.

In der „terrestrischen" Photogrammetrie unterscheidet der Verf. dann wieder die drei Gruppen: a) Meßtischphotogrammetrie oder einfache Bildmessung (Intersektionsmethode oder Schnittbildmessung; diese Namen sind sämtlich nicht besonders bezeichnend); b) die Stereophotogrammetrie oder Raumbildmessung; c) die Einzelbildphotogrammetrie oder Einzelbildmessung.

Die vorliegende Arbeit gehört zu dieser Gruppe c) der „terrestrischen" Photogrammetrie, in der der Verf. acht einzelne bereits bekannte Verfahren aufzählt. Die von ihm als 9. Verfahren hinzugefügte „Photopolarmethode" oder auch (in weniger guter Bezeichnung) „Photosehnenmethode" besteht nun darin, daß jeder bei der auszuführenden Kleinaufnahme notwendige Punkt festgelegt wird durch „photographische Winkelmessung" und durch Messung seines Abstands von einem gegebenen oder zuvor festgelegten Punkt. Es wird also im wesentlichen der Grundgedanke der in der ältern „Feldmeßkunst" so genannten Methode des Rayonnierens und Messens befolgt, wobei sich diese phototopographische Abart nur den Vorteil zunutze macht, daß man auf der photographischen Platte, bei bekannter innerer Orientierung, mit einer Aufnahme eine beliebige Zahl von Horizontal- und von Höhenwinkeln festlegen kann, nicht wie bei jeder Theodolitzielung nur einen einzigen Punkt. Die Messung von Strecken nach den einzelnen Punkten soll in der Regel mit dem 20-m-Leinen- oder leichten Stahlband geschehen, entweder vom Standpunkt der Aufnahme aus oder, falls diese Entfernungen zu groß werden, von andern bekannten Punkten aus.

Der Verf. führt mehrere praktische Aufnahmen dieser Art vor (eine Straße, mehrere Strecken von Flußläufen), bespricht die Ausmessung der Einzelplatte für die Bestimmung der Richtungen nach den einzelnen Punkten mit Hilfe des Heydeschen Plattenausmessers (9×12 cm) und findet dabei z. T. glänzende Ergebnisse; z. B. Höhenfehler der einzelnen gemessenen Punkte (durch Vergleich mit einem feinen Nivellement) bei Entfernungen zwischen 93 und 25 m nur zwischen 1 und 5 cm (m. F. ± 3 cm).

Die zwei letzten Abschnitte besprechen die Anwendungsmöglichkeiten der neuen Methode bei den kleinen Aufnahmen, für die sie zunächst bestimmt ist, insbesondere für kleine Flußaufnahmen, dann aber auch für ausgedehntere Messungen, wobei dann freilich eine schon ziemlich ins einzelne gehende Kleintriangulation oder ein Polygonnetz die Grundlage der Aufnahme zu schaffen hat.

Der Ref. findet es ganz erfreulich, daß neben die großen und in fabelhaften Preisen sich bewegenden Meßmaschinen, die die immer weitergehende Automatisierung der Phototopographie, sei es vom festen Erdboden oder von Augenblicks-„Standpunkten" in der Luft aus, und damit die Monopolisierung dieser neuen topographischen Methoden in wenigen Händen anstreben und verwirklichen, immer wieder neue phototopographische Verfahren für den Kleinbetrieb auftauchen, die mit geringstem Aufwand an instrumentellen Hilfsmitteln auszukommen suchen; mag auch das Anwendungsgebiet solcher Verfahren, wie es auch für das hier beschriebene zu trifft, verhältnismäßig eng umgrenzt sein. *Hammer.*

Erich Dinse, Fortschritte im Waagenbau. 46 S. Berlin, V. D. J.-Verlag, 1924. Geh. 3 Mk.

Nach einem kurzen geschichtlichen Überblick behandelt Verf. zwei neue Waagenformen, die Neigungswaage und die aus seiner Fabrik hervorgegangene Schaltgewichtswaage. Der vernichtenden Kritik der ersten Form wird man sich kaum anschließen können, da sie zweifellos in Fällen, wo es weniger auf höchste Genauigkeit der Wägung als auf Schnelligkeit ankommt, anderen Waagen überlegen ist, und die Unterscheidung, die Verf. zwischen objektiver und subjektiver Wägung


Digitized by Google

macht (z. B. Balkenwaage mit Gewichten und Neigungswaage), erscheint vollkommen abwegig, da z. B. eine Fortführung dieses Gedankens allen Meßgeräten mit Zeigerablesung den Charakter von ernsthaften Meßinstrumenten abspricht. Den Hauptteil der Arbeit bildet die Beschreibung der neuen zweiten Form, einer Balkenwaage, im Gegensatz zur Laufgewichtswaage von konstanter Hebellänge, wobei durch einen Schaltmechanismus geeignet geformte Gewichte in dezimaler Abstufung (9 Stück der Größe 1, 9 der Größe 10 usw.) an den Balken angehängt werden. Aus der Stellung der Schalthebel bzw. in Schaulöchern kann man unmittelbar den Gewichtsbetrag ablesen. Für eine Massenfabrikation von Waagen verschiedenster Meßbereiche stellt die Anordnung zweifellos einen Fortschritt dar, an Schnelligkeit des Arbeitens dürfte sie vielleicht die gewöhnliche Laufgewichtswage ein wenig übertreffen, an Genauigkeit soll sie mehr leisten wie diese. Eine vollkommene Umwälzung auf dem Gebiet des Waagenbaues dürfte sie indessen doch wohl nicht hervorrufen. *Block.*

M. Hildebrand, Instrumentelle Ausrüstung für Nivellements von hoher Genauigkeit. („Niv. 6", Brosch. 8 S. 4°, von der genannten Werkstätte in Freiberg [Sachsen] zu beziehen.)

Die Werkstätte für geodätische Instrumente Max **Hildebrand**, Freiberg, vervollständigt mit diesem Preisblatt ihre jüngst ausgegebenen und hier besprochenen neuen Listen ihrer Vermessungsinstrumente. Das hier angezeigte Nivellier ist den Anforderungen des Reichsamts für Landesaufnahme gemäß ausgeführt (vgl. dazu auch das Referat in *dieser Zeitschr.*, ***44.*** *S. 182*). Das Nivellier hat ein Fernrohr von $40^1/_2$ mm Objektivöffnung und 440 mm Objektivbrennweite; zwei Okulare geben 33- und 40fache Vergrößerung. Die durchlaufend geteilte und bezifferte (50^p) Kammerlibelle hat rund 5" Teilwert auf den Strich von 2,26 mm. Die Kippbewegung des Fernrohrs durch eine Feinschraube von $^1/_4$ mm Ganghöhe (1 Trommelteil $= ^1/_{100}$ Umdrehung der Schraube $= 5'',2$, also ziemlich genau 1^p der Libelle entsprechend) ist im Vergleich mit dem frühern Modell desselben Instruments dadurch sicherer gemacht worden, daß die Kippachse auf etwa 10 cm verlängert worden ist. Stehachse und Buchse für die Alhidadenbewegung sind aus demselben Metall (Staht von etwas verschiedener Härte) gearbeitet, und der Achsgang ist von der Werkstatt aus so genau geregelt, daß die besondere Hebeschraube zur Verbesserung dieses Gangs der Alhidadendrehung wegfallen konnte. Die Fußschrauben des auf dem „Kugelkopf" des Stativs stehenden Instruments haben $^1/_2$ mm Ganghöhe.

Die zwei 3 m-Latten sind hölzerne Kastenlatten mit auf dem Holz der Vorderseite eingefrästen und schwarz ausgefüllen $^1/_2$-cm-Teilstrichen von $^1/_2$ mm Breite; in der Skalenoberfläche sind in der Entfernung von 1 m zwei Messingscheibchen mit geteilter Silbereinlage eingelassen. Das stählerne Lattenprüfmeter hat wie gewöhnlich quadratischen Querschnitt und die bekannte $^1/_5$ mm-Teilung für je 1 mm zu beiden Seiten der Endstriche; Normaltemperatur 18°. Der Lattenuntersatz wiegt über 5 kg. Die ganze Ausrüstung hat sich im Gebrauch sehr gut bewährt. *Hammer.*

V. Vieweg, Elektrotechnik. Zweite neubearbeitete und erweiterte Auflage der Elektromechanik und Elektrotechnik von Dr. F. Grünbaum. 8°. 214 Seiten mit 173 Textabb. Georg Thieme, Leipzig 1924. Geb. 6 Goldmark.

Wenn Verf. die Darstellung auf dem Titelblatt als kurz und leichtfaßlich bezeichnet, so ist damit in der Tat das Wesen des Buches treffend charakterisiert. Mehrere in dem Grünbaumschen Werk ausführlicher behandelte Abschnitte wurden gekürzt, dafür aber wichtigere Neuerungen (ideale Magnetisierung, magnetischer Spannungsmesser, Vibrationsgalvanometer, Wechselstrombrücke) neu aufgenommen. Die Trennung von Elektromechanik und Elektrotechnik wurde fallen gelassen. Inhaltlich umfaßt das Buch im wesentlichen das Gebiet der Starkstromtechnik; Fernsprech-, Telegraphen- und Hochfrequenztechnik sind nicht aufgenommen. Der Darstellung gelingt es nahezu überall, das Wesentliche scharf herauszuarbeiten; sie ist daher fast durchweg von hervorragender Klarheit, ein Vorzug, der das Buch für technische Hoch- und Mittelschulen sowie für Leser, die über die elementarsten Anfangsgründe hinweg sind, zum Selbststudium als besonders geeignet erscheinen läßt.

Die Figuren der ersten Auflage wurden z. T. durch neue ersetzt, die Bezeichnungen nach den Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker durchgeführt. Druck und Ausstattung sind gut. Einige Druckfehler ließen sich bei einer Neuauflage wohl leicht beseitigen. *Zickner.*


Digitized by Google

Bekanntmachung
über die gesetzliche Temperaturskale und die Prüfung von Thermometern.
1. Temperaturskale.

Auf Grund des § 1, Abs. 2 des Gesetzes über die Temperaturskale und die Wärmeeinheit vom 7. August 1924 (*Reichsgesetzbl. I. S. 679, diese Zeitschr.* **44.** *S. 475. 1924*) wird die gesetzliche Temperaturskale in der folgenden Weise festgelegt:

Die Temperatur t wird gemessen:

1. zwischen — 193° und dem Schmelzpunkt des Eises durch den Widerstand R eines reinen Platindrahts nach der Beziehung

$$R_t = R_0 (1 + a_1 t + b_1 t^2 + c_1 t^4),$$

deren Konstanten R_0, a_1, b_1 und c_1 durch Eichung des Platindrahts bei dem Siedepunkte des Sauerstoffs:

$$t = -183{,}00^0 + 0{,}0126\,(p - 760) - 0{,}0000065\,(p - 760)^2$$

(wobei p hier wie in den folgenden Formeln den Sättigungsdruck zwischen 680 und 780 mm Quecksilbersäule bedeutet),

dem Sublimationspunkt der Kohlensäure:

$$t = -78{,}50^0 + 0{,}01595\,(p - 760) - 0{,}000011\,(p - 760)^2,$$

dem Schmelzpunkt des Quecksilbers:

$$t = -38{,}87^0$$

und dem Schmelzpunkt des Eises:

$$t = 0{,}000^0$$

bestimmt sind;

2. zwischen dem Schmelzpunkt des Eises und dem Erstarrungspunkte des Antimons durch den Widerstand R eines reinen Platindrahts nach der Beziehung

$$R_t = R_0 (1 + a_2 t + b_2 t^2),$$

deren Konstanten R_0, a_2 und b_2 durch Eichung des Platindrahts bei dem Schmelzpunkt des Eises:

$$t = 0{,}000^0,$$

dem Siedepunkte des Wassers:

$$t = 100{,}000^0 + 0{,}0367\,(p - 760) - 0{,}000023\,(p - 760)^2$$

und dem Siedepunkte des Schwefels:

$$t = 444{,}60^0 + 0{,}0909\,(p - 760) - 0{,}000048\,(p - 760)^2$$

bestimmt sind;

3. zwischen dem Erstarrungspunkte des Antimons und dem Schmelzpunkt des Goldes durch die elektromotorische Kraft e eines Thermoelements aus reinem Platin gegen eine Legierung von Platin mit 10 v. H. Rhodium unter der Bedingung, daß sich die eine Lötstelle auf der Temperatur t^0, die andere auf der Temperatur des schmelzenden Eises befindet, nach der Beziehung

$$e = a_3 + b_3 t + c_3 t^2 + d_3 t^3;$$

die Konstanten a_3, b_3, c_3 und d_3 werden durch Eichung des Thermoelements bei dem Erstarrungspunkte des Zinkes und dem Erstarrungspunkte des Antimons deren Temperatur nach der Vorschrift unter 2. zu ermitteln ist, ferner bei dem Erstarrungspunkt des Silbers:

$$t = 960{,}5^0$$

und dem Schmelzpunkt des Goldes:

$$t = 1063^0$$

bestimmt;

4. oberhalb des Schmelzpunkts des Goldes durch das bei der Wellenlänge λ des sichtbaren Lichtes beobachtete Helligkeitsverhältnis H_t/H_{Au} des schwarzen Körpers nach der Beziehung

$$\lg \frac{H_t}{H_{Au}} = \frac{c}{\lambda}\left[\frac{1}{t_{Au} + 273} - \frac{1}{t + 273}\right],$$

deren Konstanten

$$t_{Au} = 1063^0 \text{ und } c = 1{,}43 \text{ cm Grad}$$

gesetzt werden.


Digitized by Google

5. Zusätze.

a) Neben den vorstehenden Fixpunkten, durch welche die gesetzliche Temperaturskale festgelegt wird, können für die Messungen außerdem noch folgende Fixpunkte zweiter Ordnung dienen:

Umwandlungspunkt von Natriumsulfat 32,38°,

Siedepunkt von Naphthalin $217{,}9_6{}^0 + 0{,}058\ (p - 760)$ für Drucke zwischen $p = 750$ bis 760 mm,

Erstarrungspunkt von Zinn $231{,}8_5{}^0$

Siedepunkt von Benzophenon $305{,}9^0 + 0{,}063\ (p - 760)$ für Drucke zwischen $p = 750$ bis 760 mm,

Erstarrungspunkt von Kadmium 320,9°,

Erstarrungspunkt von Zink $419{,}4_5{}^0$,

Erstarrungspunkt von Antimon 630,5°,

Erstarrungspunkt von Kupfer 1083°,

Schmelzpunkt von Palladium 1557°,

Schmelzpunkt von Platin 1770°,

Schmelzpunkt von Wolfram 3400°.

b) Die Eichung des Platindrahts zwischen — 193° und dem Schmelzpunkt des Eises kann dadurch vereinfacht werden, daß für die Konstante c_1 der Wert $-5 \cdot 10^{-12}$ gesetzt wird. Die Eichung am Sublimationspunkt der Kohlensäure fällt alsdann weg.

6. Erläuterungen.

a) Der normale Schmelzpunkt des Eises und der normale Siedepunkt des Wassers beziehen sich, ebenso wie alle andern Schmelz- und Erstarrungspunkte, auf den Druck der normalen Atmosphäre von 760 mm Quecksilbersäule, gemessen bei der Dichte 13,595 und der Schwerebeschleunigung von 980,665 cm/sec².

b) Das zu Widerstandsthermometern verwendete Platin muß einen solchen Grad von Reinheit besitzen, daß der Quotient $R_t : R_0$ am normalen Siedepunkte des Sauerstoffs kleiner als 0,250, am normalen Siedepunkte des Wassers größer als 1,390 und am normalen Siedepunkte des Schwefels größer als 2,645 ist.

c) Das Thermoelement muß so beschaffen sein, daß seine elektromotorische Kraft am Goldschmelzpunkte zwischen den Werten 10200 und 10400 Mikrovolt gelegen ist.

d) Der Wert $\lambda\ (t + 273)$ unter 4. muß kleiner als 0,3 cm Grad sein.

II. Prüfordnung.

1. Die amtliche Prüfung von Thermometern und Pyrometern in der gesetzlichen Temperaturskale erfolgt durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt und durch diejenigen Stellen, welchen der Reichsminister des Innern die Befugnis dazu auf Grund des § 5 des Gesetzes über die Temperaturskale und die Wärmeeinheit übertragen hat, und zwar prüfen diese Stellen diejenigen Flüssigkeitsthermometer zwischen — 80° und + 500°, deren Genauigkeit nicht größer ist als

zwischen	— 80	und	0°	0,5°,
	0	„	+ 100°	0,05°,
	+ 100	„	200°	0,5°,
	200	„	350°	1°,
	350	„	500°	2°.

Flüssigkeitsthermometer, von denen eine größere Genauigkeit verlangt wird, sowie elektrische und optische Thermometer und Pyrometer prüft die Reichsanstalt.

2. Die Zahl der gebräuchlichen Formen von elektrischen Widerstandsthermometern und Thermoelementen sowie von Strahlungs- und optischen Pyrometern ist so mannigfaltig, daß für ihre Beschaffenheit und Prüfung keine allgemeinen Vorschriften gegeben werden.

An die zu prüfenden Flüssigkeitsthermometer, die einheitlicher gestaltet sind, werden die folgenden Anforderungen gestellt.

3a) Die Thermometer müssen aus einem bekannten Glase von geringer thermischer Nachwirkung hergestellt sein. Hierzu gehören Jenaer Normalglas 16^{III} mit rotviolettem Streifen bis 460°, Jenaer Borosilikatglas 59^{III} bis 510°, Jenaer Verbrennungsröhrenglas bis 560°, Gege Eff-Glas mit zwei farbigen Streifen bis 460°, Greiner und Friedrichssches Resistenzglas mit blauem Streifen


Digitized by Google

bis 460° und Quarzglas bis 700°. Die Thermometer müssen gealtert sein, so daß sie innerhalb der Gebrauchsgrenze keine unzulässigen Änderungen mehr erleiden.

b) Die Kapillare muß rein und gleichmäßig weit sein. Sie soll im allgemeinen — ausgenommen bei Siedethermometern für Höhenmessungen und bei meteorologischen Maximumthermometern — am oberen Ende in eine birnenförmige Erweiterung endigen, die frei sichtbar und nicht durch eine Verschlußkappe verdeckt ist. In der Kapillare angebrachte Erweiterungen müssen ohne Verengerung in die anliegenden Rohrteile übergehen.

c) Das Quecksilber muß rein und trocken sein; der Faden darf sich beim Zurückgehen nicht trennen oder beim stoßfreien Umkehren des Thermometers nicht nach dem Ende der Kapillare fließen. Andere Flüssigkeiten dürfen weder beim Zurückgehen sichtbare Tropfen in der Kapillare hinterlassen, noch einen gelösten Farbstoff ausfallen lassen. Quecksilberthermometer für Messungen über 280° hinaus müssen oberhalb des Quecksilbers mit einem trockenen, inerten Gase, z. B. Stickstoff oder Kohlensäure, unter genügendem Drucke gefüllt sein.

d) Die Striche der fehlerfreien, deutlich bezifferten Teilung sollen senkrecht zur Achse des Thermometers stehen, auf Stabthermometern wenigstens $^1/_6$ des Rohrumfangs lang und dauerhaft gefärbt sein. Erweiterungen der Kapillare dürfen nicht geteilt sein.

Der Umfang der Teilung muß dem Verwendungsbereiche des Instruments angepaßt sein; sie soll nach oben nicht über die Erweichungsgrenze des Glases ausgedehnt werden. Nach unten hin darf die Teilung höchstens bis nahe an den Erstarrungspunkt der Füllflüssigkeit reichen.

Die Unterteilung der Skale soll mit der erreichbaren Meßgenauigkeit im Einklang stehen; z. B. bringt eine Einteilung in $^1/_{10}$° oberhalb 200° nicht nur keinen Vorteil, sondern erschwert die Ablesung, verringert also die Genauigkeit.

e) Die Skale der Einschlußthermometer soll sicher und unverrückbar dicht an der Kapillare derart befestigt sein, daß sie sich ohne Verbiegung in einer Richtung gegen das Umhüllungsrohr frei ausdehnen kann. Papierskalen sind nur bis 100° zulässig.

Die Lage der Skale gegen die Kapillare oder das Umhüllungsrohr soll durch eine Strichmarke kontrollierbar sein, die möglichst auf der rechten Seite des Thermometers in der Weise anzubringen ist, daß sie die Ablesung nicht erschwert. Das Umhüllungsrohr eines Einschlußthermometers soll tunlichst oben zugeblasen sein, andernfalls eine zweite Strichmarke in der Nähe des Skalenendes aufweisen.

f) Thermometer mit abnehmbaren Skalen werden nur ausnahmsweise geprüft. Die Kapillaren solcher Thermometer müssen unverrückbar befestigt sein, dicht an den Skalen anliegen oder in diese eingelassen sein und zur Nachprüfung ihrer Lage Strichmarken haben.

g) Maximum- und Minimumvorrichtungen müssen zuverlässig wirken; eine Maximumvorrichtung darf dem Herunterschleudern des Fadens keinen zu großen Widerstand entgegensetzen.

h) Thermometer, die nicht ihrer ganzen Länge nach der zu messenden Temperatur ausgesetzt werden, müssen auf der Rückseite der Skale Aufschriften über die Benutzungsweise wie „Eintauchend bis zum Wulst", „Eintauchend bis 0°" u. dgl. sowie eine Angabe über die Temperatur des heraus ragenden Fadens tragen.

4. Geprüft werden Flüssigkeitsthermometer je nach ihrer Art, entweder

a) durch Bestimmung des Fundamentalabstandes und Kalibrierung sowie durch Vergleichung mit Normalthermometern — oder

b) nur durch Vergleichung mit Normalthermometern, und zwar im allgemeinen bei Einteilung der Thermometer in

$^1/_{10}$°	wenigstens von	10 zu 10°,	
$^1/_5$°	„ „	15 „ 15°,	
$^1/_2$ oder $^1/_1$°	„ „	20 „ 20°,	wenn die Länge von 10° mehr als 40 mm beträgt,
$^1/_2$ „ $^1/_1$°	„ „	25 „ 25°,	wenn die Länge von 10° mehr als 20 und weniger als 40 mm beträgt.
$^1/_2$ „ $^1/_1$°	„ „	50 „ 50°,	wenn die Länge von 10° mehr als 8 und weniger als 20 mm beträgt,
$^1/_2$ „ $^1/_1$°	„ „	100 „ 100°,	wenn die Länge von 10° weniger als 8 mm beträgt



5. Ein geprüftes Thermometer wird beglaubigt, wenn es die folgenden Fehlergrenzen innehält:

Skalenumfang	Skaleneinteilung			
	$^1/_{100}$, $^1/_{50}{}^0$	$^1/_{20}$, $^1/_{10}$, $^1/_5{}^0$	$^1/_2$, $^1/_1{}^0$	mehrf.⁰
— 190 bis + 20°	—	1°	3°	—
— 80 „ + 20°	—	0,5°	1°	—
— 30 „ + 100°	0,05°	0,25°	0,5°	—
— 5 „ + 200°	—	0,5°	1°	—
— 5 „ + 300°	—	1°	2°	—
— 5 „ + 400°	—	—	3°	5°
— 5 „ + 700°	—	—	5°	10°

6. Das Ergebnis der Prüfung wird entweder in einen auf das Thermometer geätzten Aufdruck zusammengefaßt, welcher den größten beobachteten Fehler angibt oder auf Antrag in einem Prüfungsscheine mitgeteilt, der die Fehler des Instruments an den geprüften Punkten enthält. Thermometern, die nach 4a geprüft wurden, wird stets ein Prüfungsschein beigegeben.

7. Die Thermometer, welche die unter 5 angegebenen Fehlergrenzen einhalten, werden durch Aufätzen des Reichsadlers, des Zeichens der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR) oder des Prüfamts, einer laufenden Nummer und der Jahreszahl beglaubigt. Thermometer, welche die Hälfte der Fehlergrenzen einhalten, werden als „Präzisionsinstrumente" durch einen aufgeätzten fünfstrahligen Stern gekennzeichnet.

8. Die Gebühren werden nach der Gebührenordnung vom 1. Juli 1918 berechnet. Für das Ausstellen von Prüfungsscheinen wird je nach der Art des Thermometers ein Betrag von 0,75 bis 1,50 M erhoben.

9. Die Festsetzung der Fehlergrenzen ungeprüfter Meßgeräte, die auf den gesetzlichen Einheiten beruhen (§ 3 des Gesetzes über die Temperaturskale und die Wärmeeinheit), erfolgt später.

10. Die Prüfung und Beglaubigung von Fieberthermometern ist durch das Reichsgesetz vom 10. September 1924 besonders geregelt.

III. Ausrüstung der Prüfämter.

1. Normalthermometer.

Je 2 Hauptnormal- und je 2 Gebrauchsnormalthermometer mit folgenden Meßbereichen:

— 80°	bis	0°	in $^1/_1{}^0$	geteiltes Einschlußthermometer,
— 30°	„	+ 50°	„ $^1/_5{}^0$	„ „
0°	„	100°	„ $^1/_{10}{}^0$	„ „
100°	„	200°	„ $^1/_2$ oder $^1/_5{}^0$	„ „
0°	„	360°	„ $^1/_1{}^0$	„ „
0°	„	550°	„ $^1/_1{}^0$	„ Stabthermometer.

Sämtliche Thermometer müssen zuerst von der Reichsanstalt geprüft sein, und ferner sind die Hauptnormalthermometer ihr alle 3 Jahre zur Nachprüfung einzureichen. Die Gebrauchsnormale muß das Prüfamt alljährlich wenigstens einmal mit den Hauptnormalen vergleichen; zeigen sich dabei unzulässige Abweichungen, so sind sie der Reichsanstalt zur Nachprüfung einzusenden. Die Eispunkte aller Normalthermometer sind nach jeder Prüfung zu bestimmen.

2. Hilfsapparate.

Folgende Hilfsapparate sind in gebrauchsfertigem Zustand zu halten:

Eispunktsgefäß, Wassersiedeapparat, Bäder zur Mischung von Kohlensäure mit Alkohol oder von Salzen mit Eis für Temperaturen zwischen — 80 und 0°; Wasserbad mit elektrischer Heizung und Rührvorrichtung, regelbar zwischen 0 und 100°; je ein Vergleichsapparat für Temperaturen zwischen 100 und 200° und zwischen 200 und 500°.

Charlottenburg, den 20. September 1924.

Der Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

In Vertretung Holborn

Nachdruck verboten.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.


Digitized by Google

FEB 4 1925

PERIODICAL ROOM
GENERAL LIBRARY
UNIV. OF MICH.

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ für Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **A. Schmidt** in Cöln a. Rh., **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Vierundvierzigster Jahrgang.

1924.

12. Heft: Dezember.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1924.


Digitized by Google

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande nur durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Die Berechnung erfolgt heftweise.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei $^1/_4$ $^1/_2$ $^1/_1$ Seite Umfang
30.— 60.— 120.— Goldmark

Bei 6 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist
10 20% Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,30 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseingangs. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungsdatum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) nur auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

R. FUESS / Berlin-Steglitz

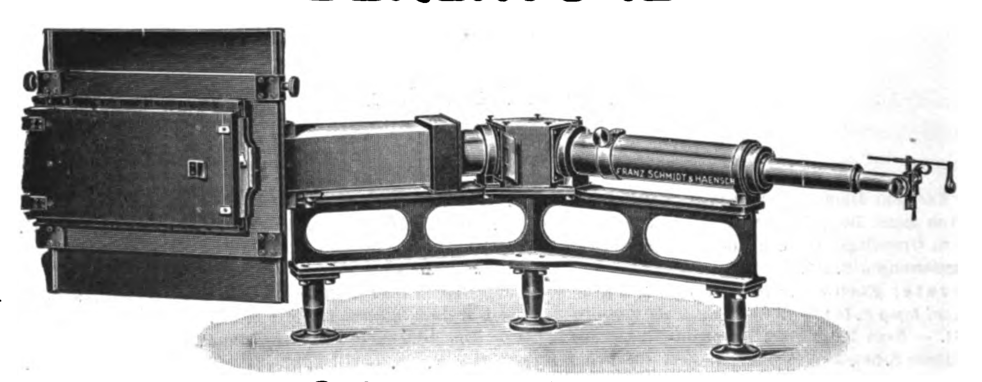
R.FUESS, BERLIN-STEGLITZ

Großer Spektrograph.

R. FUESS BERLIN-STEGLITZ

Franz Schmidt & Haensch

Prinzessinnenstr. 16 **BERLIN S 42** Prinzessinnenstr. 16



Großer Quarzspektrograph

Polarisations-Spektral-Apparate sowie
Photometer für wissenschaftlichen und technischen Gebrauch.
Projektionsapparate, Spezial-Kugelepiskope und Epidiaskope.
Anomaloskope nach Nagel, Thornersche Augenspiegel.

Preislisten kostenfrei.

[6468]

Digitized by Google

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIV. Jahrgang. **Dezember 1924.** Zwölftes Heft.

Zur Dioptrik der astronomischen Okulare. II.

Von
Prof. Dr. D. h. c. **Hugo Krüss** in Hamburg.

A. Einleitung.

In *dieser Zeitschrift* **43**. *S. 180. 1923* habe ich unter obiger Überschrift einige einfache, ganz elementare Betrachtungen gegeben, die hauptsächlich dem praktischen Konstrukteur dienen sollten, indem ich die Abhängigkeit der Gesamtbrennweite und der Vereinigungsweite solcher Okulare von den Brennweiten seiner einzelnen Linsen und ihres Abstandes voneinander entwickelte.

Die eingeschlagene Art der Betrachtung hat an mehreren Stellen Beachtung gefunden. Dadurch sehe ich mich veranlaßt, die sich daneben noch aufdrängenden Fragen weiter zu behandeln.

In der ersten Veröffentlichung habe ich lediglich das Ramsdensche und das Huyghenssche Okular betrachtet, die beide nur aus zwei Linsen bestehen, und bei ersterem den Sonderfall, daß die beiden Linsen die gleiche Brennweite haben. Hierbei habe ich dargestellt, wie Gesamtbrennweite und Vereinigungsweite sich ändern, wenn der Abstand der beiden Linsen voneinander geändert wird.

Nicht erörtert wurde aber die Güte des Bildes der verschiedenen Okulare. Zweilinsige astronomische Okulare werden, namentlich in der älteren Literatur, häufig als achromatische Okulare bezeichnet.

Prechtl[1]) führt z. B. aus, daß eine einzelne Linse, als Okular benutzt, wegen ihrer Farbenabweichung das gute Bild eines achromatischen Objektives wieder verschlechtere und die Gegenstände mit einem farbigen Rand erscheinen lasse. Man könne allerdings auch die Okularlinse achromatisieren, das erfordere aber so starke Krümmungen der dasselbe zusammensetzenden Linsen, daß ein solches Okular nur eine geringe Öffnung und ein kleines Gesichtsfeld besitzen könne. Daß diese Schwierigkeiten überwunden werden können, habe ich früher einmal gezeigt[2]).

Prechtl fährt dann fort, man brauche die Okularlinse aber auch nicht achromatisch zu machen, da man imstande sei, achromatische Okulare aus zwei oder mehreren Linsen aus demselben Glas zusammenzusetzen. Daß ein Okular mit zwei Linsen achromatisch sein kann, weist er folgendermaßen nach: Durch die Brechung in der ersten Linse werde ein violetter Strahl stärker gebrochen als ein roter. Er treffe dadurch die zweite Linse näher an der optischen Achse als der rote und werde durch diese nun weniger gebrochen als der rote Strahl, so daß der durch die erste

---

[1]) Praktische Dioptrik. Wien 1829. *S. 179* ff.

[2]) Über ein neues Okular. *Pogg. Ann.* **153**. *S. 601. 1874.*

Digitized by Google

Linse hervorgerufene Farbenfehler durch die zweite wieder aufgehoben werden könne. An anderer Stelle macht er dann sehr richtig darauf aufmerksam, daß diese erwünschte Wirkung, die Achromasie des Okulars, nur bei gehöriger Entfernung der beiden Linsen voneinander vorhanden sein kann.

Diese einfache Überlegung zeigt schon, daß bei verschiedenen Entfernungen der beiden Linsen voneinander keine gleichwertige Wirkung erzielt werden kann. Wie dabei die Verhältnisse liegen, soll Zweck der nachfolgenden Ausführungen sein. Ich verzichte dabei auf eine Darstellung in analytischer Form unter dem Gesichtspunkt, daß meine Ausführungen dem Praktiker dienen und ihm ziffernmäßig die Sachlage klarlegen soll. Es empfiehlt sich deshalb der, wenn auch etwas mühsame Weg der trigonometrischen Durchrechnung.

Die bei der Wahl eines Zahlenbeispiels zugrunde gelegten Verhältnisse sind folgende. Als Glasart, aus welcher die Linsen bestehen, nahm ich Schott Kron O 203 an. Hierfür sind die Brechungsverhältnisse

für die Linie C 1,51689,
„ „ „ D 1,51750,
„ „ „ F 1,52366.

Es wurden diese drei Linien gewählt, weil das Brechungverhältnis der Linie D allgemein als Charakteristikum für die Brechkraft eines Glases dient, der Abstand zwischen C und F aber für die Farbenzerstreuung. Der Verlauf eines Achsenstrahles der Linie D und die daraus folgenden Zahlen für die Brennweite dienen in allen Fällen als Vergleichsmaßstab.

Man muß sich zunächst grundsätzlich darüber klar werden, welche Eigenschaften die Okulare haben und unter welchen Gesichtspunkten sie untersucht werden sollen. Mit dem Okular wird das vom Objektiv entworfene Bild betrachtet. Es liegt also nahe, die von diesem Bilde ausgehenden Strahlen durch das Okular zu verfolgen, wobei vorauszusetzen wäre, daß dieses Bild ganz vollkommen sei, was bekanntlich absolut nicht der Fall sein kann. Man würde also um den Kugelgestalt- und Farbenfehler des Okulars, und zwar in seiner optischen Achse zu berechnen, von dem Mittelpunkt des Bildes ausgehende Strahlen verfolgen, die beim Austritt aus dem Okular nach der Augenseite hin, parallel der Achse sein müssen, wenn das Okular ganz vollkommen sein soll. Die Neigung der Strahlen gegen die Achse würde die Fehler des Okulars in dieser Beziehung darstellen. Bei Okularen verschiedener Konstruktion würde aber das austretende Strahlenbüschel verschiedenen Durchmesser haben, also die Ergebnisse nicht unmittelbar vergleichbar sein. Bei der wirklichen Benutzung des Okulars ist der Vorgang aber ein anderer, da hier die Augenortsblende (Austrittspupille) mit gegebenem Durchmesser das Strahlenbündel begrenzt. Man muß also, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, die Strahlen von der Augenseite bei stets gleichem Durchmesser der Augenortsblende durch das Okular verfolgen. Dann stellen die linearen Unterschiede in den Schnittpunkten der das Okular an der Bildseite verlassenden Strahlen mit der optischen Achse die Fehler des Okulars dar.

Anders liegt es in bezug auf die Feststellung der Verzerrung am Rande des Gesichtsfeldes und auf den farbigen Rand. Zur Feststellung dieser Fehler müssen die Strahlen vom Rande des Gesichtsfeldes von bestimmter Größe durch das Okular verfolgt werden.


Digitized by Google

B. Okulare aus zwei getrennt stehenden Linsen.

I. Bild außerhalb der Linsen.

1. Okular aus zwei gleichen Linsen.

Zunächst soll ein Okular aus zwei gleichen plankonvexen Linsen, die ihre konvexen Flächen einander zuwenden, untersucht werden. Die Abmessungen wurden so gewählt, daß sie in der Praxis vorkommenden Fällen entsprechen, also bei Okularen, die etwa zu geodätischen und anderen Meßinstrumenten verwendet werden. Es wurde der Krümmungsradius der konvexen Fläche mit 25 mm angenommen und die Dicke jeder der beiden Linsen mit 3 mm. Dadurch ergibt sich als Brennweite jeder Linse für die Linie D 48,31 mm.

Einem an der Augenseite einfallenden, der Achse parallelen und zu ihr symmetrischen Strahlenbüschel wurde ein Durchmesser von 3 mm gegeben und sein Verlauf durch das Okular rechnerisch bestimmt. Fig. 1 gibt das Schema davon, doch ist die Entfernung des Randstrahles von der Achse (halbe Öffnung des Strahlenbüschels) übertrieben groß gezeichnet. Der Schnittpunkt W des austretenden Strahles mit der optischen Achse ist der Vereinigungspunkt, sein Abstand w von der letzten Fläche die Vereinigungsweite, sein Abstand F vom Hauptpunkt H die Brennweite.

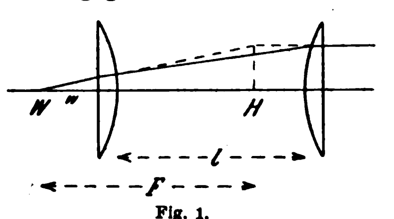


Fig. 1.

Die Durchrechnung fand nun statt für verschiedene Entfernungen l der beiden Linsen voneinander, nämlich für $l = 0$, 12, 24, 36 und 48,31 mm. Die letzte Entfernung stellt den Fall dar, daß die zweite Linse mit ihrem in Betracht kommenden Hauptpunkte im Brennpunkte der ersten Linse steht, also keinerlei Wirkung ausübt. In Wirklichkeit ist dieser Fall nicht brauchbar, weil die Vereinigungsweite negativ ist und der Vereinigungspunkt innerhalb der zweiten Linse liegt.

Das Ergebnis der Durchrechnung ist das folgende:

Entfernung e der beiden Linsen	0	12	24	36	48,31
Achsenstrahlen					
Brennweite für Strahl C	24,28	27,70	32,24	38,58	48,31
" " " D	24,15	27,58	32,14	38,50	48,31
" " " F	23,87	27,30	31,89	38,32	48,32
Vereinigungsweite für Strahl C . .	22,30	18,87	14,32	8,00	— 1,74
" " " D . .	22,18	18,75	14,19	7,83	— 1,98
" " " F . .	21,90	18,47	13,89	7,45	— 2,55
Randstrahlen					
Brennweite für Strahl C	24,21	27,63	32,18	38,52	48,29
" " " D	24,10	27,52	32,11	38,49	48,37
" " " F	23,80	27,26	31,85	38,31	48,37
Vereinigungsweite für Strahl C . .	22,24	18,81	14,25	7,92	— 1,84
" " " D . .	22,10	18,67	14,09	7,71	— 2,19
" " " F . .	21,83	18,39	13,79	7,37	— 2,75

An diesen Zahlen fällt zunächst auf, daß die Summe der aus der Brennweite und der Vereinigungsweite für einen Strahl bestimmter Brechbarkeit dieselbe ist für verschiedene Entfernungen der Linsen voneinander. Das zeigt sich schon in der

Digitized by Google

Tabelle auf *S. 183* der früheren Veröffentlichung[1]). Es ergibt sich auch aus den Ausdrücken (*S. 182*) für die beiden Größen

$$w = \frac{f(f-e)}{2f-e}; \qquad F = \frac{f^2}{2f-e};$$

woraus folgt $$w + F = f.$$

Diese Summe ist also unabhängig von der Entfernung der beiden Linsen voneinander, sie soll gleich sein der Brennweite jeder einzelnen Linse.

Die konstante Größe der Summe $w+F$ trifft überall in der vorstehenden Tabelle zu. Die Summe ist aber nicht gleich der Brennweite der Einzellinsen, sondern kleiner, z. B. bei dem Achsenstrahl der Linie *D* anstatt 48,31 nur 46,33, also um 1,98 kleiner. Das hat seinen Grund darin, daß die vorstehenden Formeln aufgestellt sind unter der Voraussetzung unendlicher dünner Linsen. Unsere Linsen haben aber eine Dicke von 3 mm, und während der eine Hauptpunkt solcher Linsen auf dem Scheitelpunkt der konvexen Fläche liegt, liegt der zweite 1,02 mm von diesem Scheitelpunkt entfernt in der Linse, also 1,98 mm von der planen Austrittsfläche, von welcher die Vereinigungsweite gezählt wird.

Je größer also bei Zunahme der Entfernung beider Linsen voneinander die Brennweite eines solchen Okulars wird, verringert sich um dasselbe der Abstand des Brennpunktes von der letzten Fläche, die Vereinigungsweite.

Aus nachstehender Tabelle ergibt sich der Kugelgestaltfehler, d. h. der Unterschied in der Vereinigungsweite für Achsen- und Randstrahlen ($w_A - w_R$), sowie der Farbenfehler, also der Unterschied der Vereinigungsweite des Strahles *C* und des Strahles *F* ($w_C - w_F$):

Entfernung der beiden Linsen	0	12	24	36	48,31
Kugelgestaltfehler ($A-R$)					
für Strahl *C*	0,06	0,06	0,07	0,08	0,11
„ „ *D*	0,07	0,08	0,10	0,12	0,21
„ „ *F*	0,07	0,08	0,10	0,08	0,20
Farbenfehler ($C-F$)					
in der Achse	0,40	0,40	0,44	0,55	0,81
am Rande	0,41	0,42	0,46	0,55	0,91

Der Kugelgestaltfehler fällt für die geringe Öffnung von 3 mm des betrachteten Strahlenbündels nicht ins Gewicht. Bedenklicher erscheint schon der Farbenfehler. Aber auch er macht in der Mitte des Gesichtsfeldes, auf die sich ja die bisherige Betrachtung bezog, nicht viel aus, weil sich seine Bilder von Strahlen verschiedener Brechbarkeit, verschiedener Farben, überdecken und zu Weiß vereinigen.

Bei den vorstehenden Zahlenangaben ist aber zu berücksichten, daß die betrachteten Okulare eine verschiedene Brennweite haben.

Reduziert man die angegebenen Fehlergrößen alle auf dieselbe Brennweite, und zwar auf diejenige von 36,45, das ist die Brennweite, welche das Okular bei einer Entfernung der beiden Linsen voneinander von 32,6 hat, eine Entfernung, welche aus den gleich weiter zu erörterten Gründen vor allen andern zu bevorzugen ist, so ergibt sich für den Kugelgestaltfehler des Strahles *D* und für den Farbenfehler in der Achse zwischen *C* und *F*:

---

[1]) Dort ist ein Fehler stehen geblieben. Die zweite Zahl in der zweiten Reihe muß 0,43 sein und nicht 0,40.

Digitized by Google

Entfernung der Linse im Verhältnis zur reduzierten Gesamtbrennweite	0	0,36	0,75	0,94	1,00
Kugelgestaltfehler	0,11	0,10	0,11	0,11	0,16
Farbenfehler	0,60	0,53	0,50	0,40	0,61

Der Kugelgestaltfehler ist hier bei den kleineren Entfernungen größer, bei den größeren kleiner als vorher. Für den Farbenfehler gilt hier dasselbe wie vorher ausgeführt.

Weit wichtiger ist die Lage am Rande des Gesichtsfeldes, da hier bei vorhandenem Farbenfehler ein farbiger Rand übrig bleibt. Deshalb müssen hier die Verhältnisse besonders untersucht werden.

Es sei in Fig. 2 G der Rand der Gesichtsfeldblende. Verbindet man G mit dem Hauptpunkte H, so ist der Winkel $GHW = \alpha$ der halbe Gesichtsfeldwinkel. Fällt ein Strahl von G aus parallel der Achse auf die zweite Okularlinse, so muß er nach Brechung durch das Okular die erste Linse unter demselben Winkel α gegen die Achse verlassen, damit die Bilder in der Gesichtsfeldblende nicht verzerrt gesehen werden, und es muß dieser Winkel α auch für Strahlen verschiedener Brechbarkeit derselbe sein, damit das Gesichtsfeld nicht mit einem farbigen Rand erscheint.

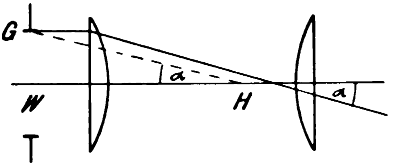


Fig. 2.

Als Beispiel sei für die Durchrechnung die Größe des Gesichtsfeldes mit 40 Grad angenommen, also $\alpha = 20$ Grad. Dann ergibt sich

Entfernung der Linsen	0	12	24	36
Austrittswinkel für Strahl C . . .	21,74°	21,70°	21,38°	18,21°
„ „ „ F . . .	22,13°	22,01°	21,58°	17,85°

Bei Entfernungen zwischen 0 und 24 findet also nur eine geringe Änderung des Ausfallswinkels statt. Derselbe ist immer größer als 20 Grad, so daß eine erhebliche Verzerrung stattfindet, und der Strahl F wird stärker gebrochen als der Strahl C. Das Gesichtsfeld wird also mit einem blauen Rand umgeben sein. Bei der Entfernung 36 ist es umgekehrt, und der Abfall zwischen 24 und 36 ist sehr stark. Es wird demgemäß eine Entfernung der beiden Linsen voneinander, wenn auch eine engbegrenzte, geben, bei welcher die beiden farbigen Strahlen parallel zueinander austreten, das Okular also tatsächlich achromatisch ist.

Als solche Entfernung ergibt sich diejenige von 32,6 mm, und hier ist auch zugleich der Austrittswinkel wie verlangt 20 Grad. Bei einer Entfernung von 33 mm ist dieser Winkel bereits 19,9 bzw. 19,8 Grad. Die Ergebnisse der Rechnung für das Okular in bester Wirkung mit der Entfernung 32,6 mm der beiden Linsen voneinander in Millimeter sind folgende:

Achsenstrahlen

Brennweite für Strahl C 36,55
„ „ „ D 36,45
„ „ „ F 36,25
Vereinigungsweite für Strahl C 10,03
„ „ „ D 9,88
„ „ „ F 9,53

Digitized by Google

Randstrahlen

Brennweite für Strahl C	36,49
„ „ „ D	36,43
„ „ „ F	36,23
Vereinigungsweite für Strahl C	9,95
„ „ „ D	9,76
„ „ „ F	9,41

Kugelgestaltfehler

für Strahl C	0,08
„ „ D	0,12
„ „ F	0,12

Farbenfehler

in der Achse	0,50
am Rande	0,54

Austrittswinkel für den Rand des Gesichtsfeldes

für Strahl C	20,06°
„ „ F	20,00°.

Es ist damit die beste Form des Okulars aus zwei gleichen Linsen gefunden.

2. Das Ramsdensche Okular.

Die Einrichtung des Ramsdenschen Okulars ist nach den in der Literatur vielfach vorhandenen Angaben so, daß folgendes Verhältnis zwischen den Brennweiten der beiden Linsen und ihrer Entfernung voneinander stattfinden soll:

$$f_1 : e : f_2 = 5 : 4 : 9.$$

Damit ein Vergleich möglich ist, muß diesem Okular selbstverständlich dieselbe Gesamtbrennweite wie dem Okular bester Form aus zwei gleichen Linsen gegeben werden, nämlich für den Achsenstrahl von der Brechbarkeit der Linie D 36,45 mm. Zu diesem Zwecke müssen die Konstruktionselemente des Okulars folgende sein:

Augenlinse:	Brennweite	40,5	Krümmungsradius	21,0
Kollektivlinse:	„	72,9	„	37,8
Entfernung beider Linsen voneinander				32,3.

Aus diesen Elementen erhält man folgende Rechnungsergebnisse:

Achsenstrahlen

Brennweite für Strahl C	36,64
„ „ „ D	36,45
„ „ „ F	36,19
Vereinigungsweite für Strahl C	5,64
„ „ „ D	5,46
„ „ „ F	5,07

Randstrahlen

Brennweite für Strahl C	36,49
„ „ „ D	36,38
„ „ „ F	36,12
Vereinigungsweite für Strahl C	5,43
„ „ „ D	5,26
„ „ „ F	4,88

Digitized by Google

Kugelgestaltfehler

für Strahl C	0,21
„ „ D	0,20
„ „ F	0,19

Farbenfehler

in der Achse	0,57
am Rande	0,55

Austrittswinkel für den Rand des Gesichtsfeldes

für Strahl C	20,38°
„ „ F	20,52°.

Der Vergleich mit demjenigen aus zwei gleichen Linsen bester Form fällt sehr zuungunsten dieses Okulars aus. Während allerdings der Farbenfehler nicht erheblich größer ist, ist der Kugelgestaltfehler sehr viel größer, und der Rand des Gesichtsfeldes erleidet eine erhebliche Verzerrung und weist einen farbigen Rand auf.

Nach den Erfahrungen mit dem Okular aus zwei gleichen Linsen ist vorauszusehen, daß die letztgenannten Fehler verringert oder beseitigt werden können durch Veränderung des Abstandes der beiden Linsen voneinander, und zwar muß er zu diesem Zwecke vergrößert werden, so daß das Verhältnis

$$f_1 : e : f_2 \text{ nicht mehr } 5:4:9 \text{ ist, sondern } 5:4{,}62:9.$$

Damit ist aber die Brennweite für den Achsenstrahl D nicht mehr die verlangte nämlich 36,45, sondern 38,45. Es müssen also alle Abmessungen des Okulars entsprechend verändert werden. Dadurch müssen jetzt sein:

Augenlinse:	Brennweite	38,0	Krümmungsradius	19,68
Kollektivlinse:	„	68,3	„	35,43
Abstand der beiden Linsen voneinander				35,05.

Die Rechnung ergibt mit diesen Elementen:

Achsenstrahlen

Brennweite für Strahl C	36,54
„ „ „ D	36,45
„ „ „ F	36,23
Vereinigungsweite für Strahl C	1,05
„ „ „ D	0,88
„ „ „ F	0,47

Randstrahlen

Brennweite für Strahl C	36,48
„ „ „ D	36,38
„ „ „ F	36,17
Vereinigungsweite für Strahl C	0,82
„ „ „ D	0,65
„ „ „ F	0,24

Kugelgestaltfehler

für Strahl C	0,23
„ „ D	0,23
„ „ F	0,23

Digitized by Google

Farbenfehler

in der Achse	0,58
am Rande	0,58

Austrittswinkel für den Rand des Gesichtsfeldes

für Strahl *C*	19,99°
„ „ *F*	20,11°.

Durch die Vergrößerung des Abstandes beider Linsen voneinander sind also Kugelgestalt- und Farbenfehler fast unverändert geblieben.

Es seien noch kurz die Hauptergebnisse für die drei betrachteten Okulare zusammengestellt, bei denen immer die Brennweite in der Achse für den Strahl *D* 36,45 und der Ausfallswinkel für den Rand des Gesichtsfeldes für den Strahl *C* 20,00 Grad ist.

$f_1 : e : f_2$	1 : 0,67 : 1	5 : 4 : 9	5 : 4,62 : 9
Kugelgestaltfehler in der Achse für Strahl *D*	0,12	0,20	0,23
Farbenfehler in der Achse	0,50	0,57	0,58
Abweichung des Gesichtsfeldrandstrahles *F* von 20 Grad	— 0,06°	+ 0,14	+ 0,12°

Es ist also in jeder Beziehung das Okular mit zwei gleichen Linsen besser als dasjenige, bei welchem sich die Brennweiten der beiden Linsen wie 5 : 9 verhalten. Bei ersterem liegt auch die Entfernung beider Linsen voneinander, bei welcher der Gesichtsfeldrandstrahl *C* unter 20 Grad austritt und demjenigen, wo *C* und *F* den gleichen Winkel bilden, näher beieinander als bei letzterem, so daß bei einer und derselben Entfernung nahezu beide Bedingungen erfüllt sind.

3. Das orthoskopische Okular von Kellner.

Der Optiker Carl Kellner in Wetzlar hat im Jahre 1849 in einer bei Friedrich Vieweg & Sohn in Braunschweig erschienenen, jetzt vergriffenen Broschüre ein neues Okular angekündigt. Der Inhalt der Schrift stellt mehr eine geschäftliche Empfehlung als eine wissenschaftliche Erörterung dar. Das orthoskopische Okular wird auch nicht in bezug auf seine Konstruktion näher beschrieben. Im Gegenteil hebt der Verfasser hervor, der Leser dürfe nicht erwarten, daß er seine Erfindung rücksichtslos preisgebe und sich auf eine Zergliederung der Einrichtung dieses Okulars und Entwicklung der Grundprinzipien, auf welche der gute Erfolg sich gründet, einlasse. Er wolle nur das berichten, was das neue Okular leistet.

Aus den Ausführungen Kellners ist auch kaum zu entnehmen, ob sein Okular nach dem Typus des Ramsdenschen oder nach demjenigen des Huyghensschen Okulars gebildet ist. Jedoch findet sich das Okular in der Literatur mehrfach abgebildet[1]. Daraus ist zu entnehmen, daß das Okular ein Ramsdensches ist. Die Kollektivlinse ist bikonvex mit nahezu gleichen Krümmungsradien, die weniger gekrümmte Fläche ist dem Objektiv zugewendet. Die Augenlinse wird aus einer zweifachen achromatischen Linse aus Kron- und Flintglas gebildet. Angaben über die Abmessungen finden sich hier aber auch nicht.

Kellner selbst rühmt von seinem Okular, daß es bei einem sehr großen Gesichtsfelde ein vollkommen ungekrümmtes, perspektivisch richtiges, seiner ganzen Ausdehnung nach scharfes Bild erzeugt ohne blauen Rand des Gesichtsfeldes. Diese anscheinend wirklich vorhandenen Vorzüge haben dem orthoskopischen Okular eine gewisse Verbreitung verschafft.

---

[1]) Z. B. bei Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde, Stuttgart 1873, *S. 97* und bei Ambronn, Handbuch der Astron. Instrumentenkunde, Berlin 1899, *S. 313*.


Digitized by Google

Der Mitarbeiter Kellners, M. Hensoldt in Wetzlar, erwähnt in einer Veröffentlichung[2]) das orthoskopische Okular und rühmt seine Vorzüge, gibt aber auch nichts über die Konstruktion an.

Auf meine Bitte war Herr Dr. Leitz in Wetzlar so freundlich, mir zwei charakteristische Ausführungen des Kellnerschen orthoskopischen Okulars mitzuteilen, nämlich eines Mikroskop-Okulars und eines astronomischen Okulars. Letzteres interessiert uns hier. Es hat eine Brennweite von 12,9. Um seine Leistungen mit denjenigen der bisher betrachteten Okulare vergleichbar zu machen, habe ich alle mir mitgeteilten Dimensionen verdreifacht. Dadurch ergeben sich die folgenden Abmessungen für dieses Okular (Fig. 3):

	$r_1 = -201{,}60$	Flint
$d_1 = 3{,}0$	$r_2 = +20{,}52$	Kron
$d_2 = 4{,}8$	$r_3 = -17{,}61$	
$d_3 = 33{,}9$	$r_4 = +65{,}25$	Kron
$d_4 = 6{,}0$	$r_5 = -75{,}90$	

Fig. 3.

Herr Dr. Leitz teilte ferner mit, daß Kellner Daguetsches Glas für seine Okulare verwandt habe, und gibt als Brechungsexponenten für die Linie D an

für Kron 1,5220,
für Flint 1,6177,

fügt aber hinzu, daß die Dispersion dieser Gläser nicht bekannt sei.

Glücklicherweise habe ich in alten Notizen über optische Gläser diese beiden Glasarten herausfinden können, wobei auch die Brechungsverhältnisse für die Linie F vermerkt war, leider nicht auch diejenigen für die Linie C, so daß die auf Grund dieser Angaben angestellten Berechnungen nicht vollständig vergleichbar mit den bisherigen sind. Ein Urteil über die achromatische Wirkung des Kellnerschen Okular erscheint trotzdem möglich. Die der Rechnung zu Grunde gelegten Brechungsverhältnisse sind danach

Kron	Flint
$n_D = 1{,}5220$	$n'_D = 1{,}6177$
$n_F = 1{,}5280$	$n'_F = 1{,}6296$

Die Rechnungsergebnisse sind folgende:

Achsenstrahlen

Brennweite für den Strahl D	38,55
" " " " F	38,44
Vereinigungsweite für den Strahl D	6,17
" " " " F	6,15

Randstrahlen

Brennweite für den Strahl D	38,48
" " " " F	38,37
Vereinigungsweite für den Strahl D	5,94
" " " " F	5,87

Kugelgestaltfehler

für den Strahl D	0,23
" " " F	0,28

[2]) *Diese Zeitschrift.* **5.** *S. 418. 1885.*

Digitized by Google

Farbenfehler

in der Achse	0,02
am Rande	0,07

Austrittswinkel für den Rand des Gesichtsfeldes

für Strahl D	20,42°
„ „ F	20,48°

Die Rechnung wurde wie in bisherigen Beispielen für eine Öffnung von 3,0 und ein scheinbares Gesichtsfeld von 20° angenommen. Man sieht, daß sich dieses Okular hauptsächlich durch große Achromasie auszeichnet, während der Kngelgestaltfehler verhältnismäßig groß und die Verzerrung am Rande des Gesichtsfeldes nicht ganz gehoben ist.

Es mag noch hinzugefügt werden, daß Steinheil in seiner Liste ein „Verbessertes Kellnersches Okular" anführt, in welchem sowohl die erste Fläche der verkitteten Augenlinse als die letzte Fläche der positiven Kollektivlinse plan sind. Hinzugefügt wird, daß dieses Okular reflex- und verzeichnungsfrei sei und besonders klare achromatische, randscharfe Bilder gebe.

II. Bild zwischen den Linsen.

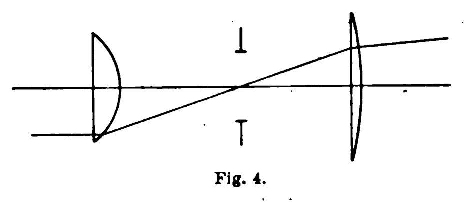
1. Das Huyghenssche Okular.

Bei dem Huyghensschen Okular ist bekanntlich die Entfernung der beiden Linsen voneinander größer als die Brennweite der Okularlinse. In deren Brennebene liegt zwischen beiden Linsen die Gesichtsfeldblende, und der Vereinigungspunkt des Gesamtokulares liegt nicht außerhalb desselben, ist nicht reell, sondern virtuell, er liegt zwischen beiden Linsen.

Die in der Literatur gegebenen Angaben für die Abmessungen dieses Okulars besagen, daß die Brennweite der Kollektivlinse das Dreifache derjenigen der Okularlinse sein soll, die Entfernung der beiden Linsen voneinander das zweifache, also

$$f_1 : e : f_2 = 1 : 2 : 3.$$

Will man wieder, um einen Vergleich mit den Leistungen der Ramsdenschen Okulare zu haben, die Gesamtbrennweite des Okulars $= 36,45$ machen, so ergibt sich (Fig. 4).


Fig. 4.

$f_1 = 23,27$ $r_1 = 12,04$
$e = 46,53$
$f_2 = 69,80$ $r_2 = 35,12$.

Auch hier zeigt sich, daß der vom Rande des Gesichtsfeldes von 20 Grad parallel der Achse kommende Strahl das Okular nach der Augenseite in einem größeren Winkel als 20 Grad verläßt. Durch dasselbe Mittel wie beim Ramsdenschen Okular, nämlich durch Vergrößerung des Abstandes der Linsen voneinander, kann auch hier dieser Fehler beseitigt werden derart, daß der Winkel für den Strahl C 20 Grad ist. Es muß zu diesem Zweck $f_1 : e : f_2 = 1 : 2,41 : 3$ sein und bei Einhaltung der Brennweite von 36,45

$f_1 = 18,03$ $r_1 = 9,33$
$e = 43,38$
$f_2 = 54,09$ $r_2 = 27,99$

Digitized by Google

$f_1:e:f_2$	1:2:3	1:2,4,1:3
Kugelgestaltfehler für Strahl D	1,10	2,53
Farbenfehler in der Achse	1,34	2,18
Gesichtsfeld	20,86°	20°
Abweichung des Randstrahles F vom Randstrahl C	+0,05°	+0,30°

Das Bild, welches diese Zusammenstellung für das Huyghenssche Okular gibt, zeigt, daß es weit ungünstiger ist als das Ramsdensche Okular. Farbenfehler und Kugelgestaltfehler sind größer, und sie vergrößern sich noch bei der Beseitigung der Verzerrung am Rande des Gesichtsfeldes. Und hier wird auch die Farbenabweichung, der farbige Rand stärker.

Es sind nun mancherlei Abarten des Huyghensschen Okulars hergestellt. Am meisten verbreitet sind wohl solche Konstruktionen, wo die Augenlinse ersetzt ist durch zwei Linsen, die zusammen wie eine Lupe oder, wenn man will, auch wie ein Ramsdensches Okular wirken. Es soll dabei offenbar durch die Verteilung der Brechungen auf eine größere Anzahl von Flächen der Kugelgestaltfehler vermindert werden.

Die erste Angabe über damalige Okulare findet sich bei Klügel: Analytische Dioptrik, Leipzig 1778, *S. 449.*

Von den mir bekannten derartigen Anordnungen greife ich eins heraus, die einfache Verhältniszahlen in den Brennweiten und Abständen aufweist, nämlich

$$f_1:e_1:f_2:e_2:f_3 = 7:4:21:9,4:22,5.$$

Damit die Gesamtbrennweite dieses Systems wieder 36,45 werde, müssen die Abmessungen folgende sein:

f_1	26,97	r_1 — 13,96
e_1	15,38	
f_2	80,73	r_2 + 41,78
e_2	36,23	
f_3	85,33	r_3 — 44,26

Die Brennweite der beiden ersten Linsen zusammen, durch die die Gesichtsfeldblende scharf erscheint, ist dann 36,8, und es ergibt sich

der Kugelgestaltfehler in der Achse für Strahl D .	0,76
der Farbenfehler in der Achse	1,27
der Gesichtsfeldrandstrahl C tritt aus unter . . .	20;8°
Abweichung des Randstrahles F vom Randstrahl C	0,05°.

Man sieht also, daß tatsächlich der Kugelgestaltfehler bei diesem Huyghensschen Okular mit zweifacher Augenlinse geringer ist, als bei dem gewöhnlichen Huyghensschen Okular aus nur zwei Linsen. Die übrigen Fehler sind aber dieselben geblieben.

Man könnte hier wieder versuchen, durch Vergrößerung des Abstandes der Kollektivlinse von den beiden anderen die Verzerrung des Gesichtsfeldrandstrahles zu heben. Diese Vergrößerung muß, wie Versuche gezeigt haben, eine ganz erhebliche sein. Dadurch wird die Gesamtbrennweite zunächst sehr vergrößert. Reduziert man diese, um vergleichbare Werte zu erhalten, wieder auf 36,45, so müssen die Brennweiten der Einzellinsen und die Radien ihrer Flächen sehr verkleinert werden. Dadurch wächst aber wieder der Kugelgestaltfehler, wie dies auch bei dem einfachen Huyghensschen Okular der Fall war.

Man kann also füglich auf diesen Versuch verzichten und muß zusammenfassend sagen, daß der Ersatz der Augenlinse eines Huyghensschen Okulars durch zwei Linsen von größerer Brennweite keinen erheblichen Vorteil darbietet.


Digitized by Google

2. Das Mittenzweysche Okular.

Unter der Bezeichnung als **Mittenzweysches Okular** mit der Hinzufügung: Verbessertes Huyghenssches Okular führt Steinheil ein Okular in seiner Liste auf, bestehend aus einer plankonvexen Augenlinse und einer konvexkonkaven Kollektivlinse. Das scheinbare Gesichtsfeld wird mit 50 Grad angegeben.

Herr Prof. Dr. Ambronn war so freundlich, mir die Konstruktionselemente eines solchen Okulars von angeblich 10 mm Brennweite zu übermitteln, nämlich

$$\begin{array}{ll} & r_1 = \infty \\ d_1 = 0{,}9 & r_2 = -\ 3{,}56 \\ d_2 = 9{,}8 & r_3 = -\ 26{,}6 \\ d_3 = 2{,}2 & r_4 = -\ 6{,}64 \end{array}$$

Zur Bezeichnung des hierzu verwendeten Kronglases wurde angegeben $n_D = 1{,}51$ und $n - 1/n_F - n_C = 64{,}0$. Diesen Angaben entspricht das Borosilikatkron O 144 einer früheren Schottschen Liste, so daß als Brechungsverhältnisse angenommen werden konnten

$$n_C = 1{,}50752$$
$$n_D = 1{,}5100$$
$$n_F = 1{,}51559$$

Zunächst ergab sich für den Brechungsexponent n_D die Brennweite der Augenlinse $f_1 = 6{,}98$, diejenige der Kollektivlinse $f_2 = 16{,}7$. Demgemäß ist $f_1 : e : f_2 = 6{,}98 : 9{,}8 : 16{,}7 = 1 : 1{,}4 : 2{,}4$, während bei dem ursprünglichen Huyghensschen Okular dieses Verhältnis $1 : 2 : 3$ ist.

Die Gesamtbrennweite des Okulars ergab sich für den Strahl D zu 9,07. Um vergleichbare Ergebnisse in bezug auf die bisher betrachteten Okulare zu erhalten, werden die Elemente in Rücksicht auf die zu erreichende Brennweite von 36,45 entsprechend vergrößert, nämlich auf (Fig. 5)

$$\begin{array}{ll} & r_1 = \infty \\ d_1 = 3{,}38 & r_2 = -13{,}38 \\ d_2 = 36{,}82 & r_3 = -99{,}95 \\ d_3 = 8{,}27 & r_4 = -24{,}95. \end{array}$$

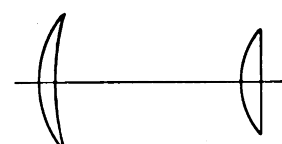


Fig. 5.

Die Rechnungsergebnisse bei Anwendung dieser Elemente und der Brechungsverhältnisse für O 144 sind:

Achsenstrahlen

Brennweite für den Strahl C	36,47
" " " " D	36,45
" " " " E	36,43
Vereinigungsweite für den Strahl C	— 22,48
" " " " D	— 22,75
" " " " F	— 23,37

Randstrahlen

Brennweite für den Strahl C	36,40
" " " " D	36,40
" " " " F	36,37
Vereinigungsweite für den Strahl C	— 23,15
" " " " D	— 23,44
" " " " F	— 24,07

Digitized by Google

Kugelgestaltfehler

für den Strahl C	0,67
„ „ „ D	0,69
„ „ „ F	0,70

Farbenfehler

in der Achse $C-F$	0,89
am Rande $C-F$	0,92

Austrittswinkel am Rande des Gesichtsfeldes

für den Strahl C	21,25°
„ „ „ F	21,25°

Es scheint also gegenüber dem gewöhnlichen Huyghensschen Okular die Verbesserung ausschließlich darin zu bestehen, daß kein farbiger Rand vorhanden ist. Kugelgestalt und Farbenfehler sind aber erheblich größer, ebenso die Verzerrung. Sie ließ sich durch eine erhebliche Vergrößerung der Entfernung der Kollektivlinse von den Augen wohl verkleinern und beseitigen; aber es wird dann der Kugelgestaltfehler wieder wachsen, weil, um bei dem größeren Abstande der Linsen voneinander wieder dieselbe Gesamtbrennweite zu erzielen, die Brennweiten der beiden Linsen, also auch die Radien ihrer Flächen größer werden müßten.

C. Okulare aus einer oder mehreren miteinander verbundenen (verkitteten) Linsen.

1. Die einfache Linse.

Die ersten astronomischen Fernrohre bestanden aus einer einzelnen als Objektiv dienenden und einer einzelnen Okularlinse, die in einer Entfernung von der Summe der Brennweiten der beiden Linsen voneinander abstanden.

Die einfache Linse als Okular hat man bald verlassen wegen ihrer großen Fehler, namentlich wegen des starken farbigen Randes, welchen sie erzeugt. Trotzdem ist es nicht ohne Interesse, ihre Fehler in derselben Weise darzustellen, wie es bei den bisher betrachteten, zusammengesetzten Okularen der Fall war. Es sei dasselbe Kronglas vorausgesetzt, ferner eine Brennweite von 36,45 für den Strahl von der Wellenlänge der Linie D, eine Öffnung des parallel auf die Linse fallenden Achsenbüschels von 3,0 und ein halbes Gesichtsfeld von 20 Grad.

Nun erhebt sich die Frage, welche Form dieser Linse gegeben werden soll. In Fig. 6 sind verschiedene solcher Linsen dargestellt, und es fragt sich nun, welche Form den kleinsten Kugelgestaltfehler hat. Dabei soll das achsenparallele Strahlenbüschel symmetrisch zur Achse als von rechts her auf die Linsen fallend angenommen werden. Es ist dann:

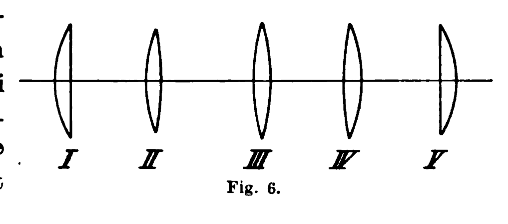


Fig. 6.

	I	II	III	IV	V
Radius r_1	∞	+ 74,99	+ 37,2	+ 28,82	+ 18,862
„ r_2	— 18,862	— 24,86	— 37,2	— 74,99	∞
Kugelgestaltfehler	0,27	0,16	0,11	0,05	0,08

Es zeigt sich, daß bei der Linse IV der Kugelgestaltfehler am kleinsten ist. Diese Linse hat die Eigenschaft, daß die Brechungen an den beiden Flächen gleich groß sind. Littrow wies auf analytischem Wege nach[1]), daß bei einem Brechungs-

[1]) Littrow, Dioptrik. Wien 1850. S. 247.

Digitized by Google

index von 1,5 das Minimum der Kugelabweichung vorhanden sei bei dem Verhältnis $r_1 : r_2 = 1 : 6$. Die Form der Linse IV liegt also mehr bei diesem Minimum, denn bei der Linse V, wo $r_1 : r_2 = 1 : \infty$ ist, ist dieser Fehler schon wieder größer. Trotzdem halte ich diese Form nicht für die günstigste, einmal, weil der Kugelgestaltfehler für vom Bilde kommende Strahlen (siehe Linse II) sehr viel größer ist, und sodann, weil sie nur ein sehr kleines Gesichtsfeld hat, indem bei etwas größerem Gesichtsfeld die Strahlen an der Fläche mit dem Krümmungsradius r_1 totale Reflexion erleiden.

Deshalb wähle ich das Beispiel der Bikonvex-Linse III. Für diese ergibt sich:

Achsenstrahlen	
Brennweite für den Strahl C	36,62
„ „ „ „ D	36,44
„ „ „ „ F	36,02
Vereinigungsweite für den Strahl C	35,62
„ „ „ „ D	35,44
„ „ „ „ F	35,02
Randstrahlen	
Brennweite für den Strahl C	36,50
„ „ „ „ D	36,44
„ „ „ „ F	36,91
Vereinigungsweite für den Strahl C	35,50
„ „ „ „ D	35,33
„ „ „ „ F	34,91
Kugelgestaltfehler	
für den Strahl C	0,12
„ „ „ D	0,11
„ „ „ F	0,11
Farbenfehler	
in der Achse $C - F$	0,60
am Rande $C - F$	0,59
Austrittswinkel am Rande des Gesichtsfeldes	
für den Strahl C	25,14°
„ „ „ D	24,66°

Man sieht also, daß während der Kugelgestaltfehler sich in mäßigen Grenzen hält, der Farbenfehler sehr groß ist, desgleichen die Verzerrung. Der Austrittswinkel ist sehr viel kleiner, als er sein sollte, nämlich 20 Grad, und außerdem ist ein starker blauer Rand vorhanden, so daß die einfache Linse als Okular unbrauchbar ist.

2. Dreifaches Okular von Krüss.

Dieses vor längerer Zeit von mir konstruierte Okular[1]) besteht aus drei miteinander verkitteten Linsen, einer Flintglaslinse, eingebettet zwischen zwei Kronglaslinsen. Die Brennweite war 8,20 Zoll. Um für diese wieder den vergleichbaren Wert von 36,45 zu erhalten, mußten alle Elemente der Linse mit 4,44 multipliziert werden. Dadurch ergeben sich folgende Zahlen für die Radien und Dicken der Linsen (Fig. 7):

Fig. 7.

[1]) *Ann. Physik u. Chemie.* **153.** *S. 606. 1874.*

$d_1 = 8{,}88$	$r_1 = +23{,}40$	Kron
$d_2 = 4{,}44$	$r_2 = +44{,}40$	Flint
$d_3 = 13{,}32$	$r_3 = +12{,}88$	Kron
	$r_4 = -25{,}44$	

Die bei Konstruktion des Okulars zugrunde gelegten Glasarten und ihre Brechungsverhältnisse waren

Chance Soft Crown		Chance Double extra Dense Flint	
n_C	1,5125	n'_C	1,7058
n_D	1,5153	n'_D	1,7127
n_F	1,5218	n'_F	1,7299

Die Öffnung des parallelen von der Augenseite auffallenden Strahlenbüschels war damals zu 0,68 angenommen. Mit 4,44 multipliziert ergibt sich 3,02. Es wurde wie bei allen vorhergehenden Rechnungen als Öffnung hier 3,0 angenommen. Es war von mir der Farbenfehler in bezug auf Strahlen von der Brechbarkeit der beiden Linien D und F beseitigt. Man wird also nicht erwarten können, daß er auch für die Linie C aufgehoben ist. Man kann im Gegenteil erwarten, daß Strahlen von der Brechbarkeit der Linie C erhebliche Abweichungen zeigen. Sodann ist bei diesem Okular ein scheinbares halbes Gesichtsfeld von 20 Grad nicht zu erreichen infolge der starken Krümmung der dritten Fläche ($r_3 = +12{,}88$). Es wurde die Durchrechnung deshalb nur auf ein halbes scheinbares Gesichtsfeld von 15 Grad beschränkt.

Die Rechnungsergebnisse sind nun folgende:

Achsenstrahlen

Brennweite für den Strahl C	36,48
„ „ „ „ D	36,44
„ „ „ „ F	36,42
Vereinigungsweite für den Strahl C	24,98
„ „ „ „ D	24,95
„ „ „ „ F	24,94

Randstrahlen

Brennweite für den Strahl C	36,40
„ „ „ „ D	36,37
„ „ „ „ F	36,36
Vereinigungsweite für den Strahl C	24,91
„ „ „ „ D	24,88
„ „ „ „ F	24,86

Kugelgestaltfehler

für den Strahl C	0,07
„ „ „ D	0,07
„ „ „ F	0,08

Farbenfehler

in der Achse $C - F$	0,04
am Rande $C - F$	0,05

Austrittswinkel am Rande des Gesichtsfeldes

für den Strahl C	$15{,}29^0$
„ „ „ F	$15{,}21^0$.

Digitized by Google

Die Konstruktion des Okulars ist demnach ein recht gute. Neben einem sehr kleinen Kugelgestalt- und Farbenfehler ist es stabil achromatisch, d. h. zwei an demselben Punkte des Okulars eingetretene verschiedenfarbige Strahlen zielen nach der Brechnung durch dasselbe nicht nur auf denselben Punkt der Achse, sondern sie verlassen das System auch an dem gleichen Punkte, da die Hauptpunkte für sie zusammenfallen. Infolgedessen findet auch die gleiche Vergrößerung der verschiedenfarbigen Bilder statt, es fehlt der farbige Rand. Dagegen ist eine geringe Verzerrung vorhanden, da die unter 15 Grad in das System von der Bildseite her eingetretenen Strahlen dasselbe in einem etwas größeren Winkel wieder verlassen.

3. Homozentrisches Okular von Steinheil.

Sehr interessant ist das homozentrische Okular von Steinheil. Dasselbe besteht nach der Angabe der Steinheilschen Liste aus drei verkitteten Linsen, ein Kugelausstich aus Kronglas zwischen zwei Flintglasmenisken, deren Radien ein gemeinschaftliches Zentrum haben. Es soll frei von Reflexen und von Verzerrungen sein und ein scheinbares Gesichtsfeld von ca. 32 Grad haben.

Ambronn gibt für die Abmessungen und die Glasarten folgende Angaben[1]):

	$r_1 + 12{,}911$		
d_1 7,177	$r_2 + \ 5{,}734$	Flint
d_2 12,900	$r_3 - \ 7{,}167$	Kron
d_3 12,544	$r_4 - 19{,}711$	Flint

Danach wären die Mittellinsen also kein Kugelausschnitt.

Als Brechungsverhältnisse der verwendeten Glasarten wird hier angegeben:

	Kron	Flint
n_{gelb}	1,51785[2])	1,61358
n_{violett}	1,52767	1,63207

Nach einer Notiz Konkolys ist für Gelb das Brechungsverhältnis für die Linie D angenommen, für Violett eine Stelle entsprechend $B + (F - D)\,1{,}56$.

Daraus geht hervor, daß die verwendeten Glasarten vollständig entsprechen den beiden Gläsern Chance Hard Crown und Feil 1252, und es können infolgedessen für unsere Rechnung angenommen werden:

	Kron		Flint
n_C	1,51533	n'_C	1,60880
n_D	1,51785	n'_D	1,61358
n_F	1,52416	n'_F	1,62547

Um einen Vergleich mit den bisher betrachteten Konstruktionen zu gestatten, muß dem System für die Linie D wieder die Brennweite 36,45 gegeben werden. Zu diesem Zwecke müssen die Abmessungen sein (Fig. 8):

Fig. 8.

	$r_1 + 17{,}164$	
d_1 9,542	$r_2 + \ 7{,}622$	Flint
d_2 17,149	$r_3 - \ 9{,}527$	Kron
d_3 16,677	$r_4 - 26{,}204$	Flint

Für die Achsenstahlen vom Auge aus wurde wieder eine Öffnung von 3,0 angenommen. Da ein scheinbares halbes Gesichtsfeld von 20 Grad nicht durchgelassen

---

[1]) Ambronn, Handbuch der Astronomischen Instrumentenkunde *S. 353.*

[2]) Bei Ambronn 1,51705 ist ein Druckfehler.

Digitized by Google

wird, mußte auch hier, wie bei dem vorgehenden Krüssschen Okular, dasselbe auf 15 Grad beschränkt werden.

Die Rechnungsergebnisse sind die folgenden:

Achsenstrahlen

Brennweite für den Strahl C	36,44
„ „ „ „ D	36,45
„ „ „ „ F	36,43
Vereinigungsweite für den Strahl C	10,24
„ „ „ „ D	10,24
„ „ „ „ F	10,22

Randstrahlen

Brennweite für den Strahl C	36,41
„ „ „ „ D	36,41
„ „ „ „ F	36,40
Vereinigungsweite für den Strahl C	10,23
„ „ „ „ D	10,23
„ „ „ „ F	10,23

Kugelgestaltfehler

für den Strahl C	0,01
„ „ „ D	0,01
„ „ „ F	0,01

Farbenfehler

in der Achse $C - F$	0,02
am Rande $C - F$	0,00

Austrittswinkel am Rande des Gesichtsfeldes

für den Strahl C	14,33°
„ „ „ F	14,46°.

Die Vereinigung der verschiedenen Strahlen muß als eine sehr gute bezeichnet werden, dagegen ist das Okular nicht ganz frei von Verzerrung, und zwar liegt hier der Fehler entgegengesetzt wie bei dem dreifachen Okular von Krüss.

Das homozentrische Okular hat noch eine interessante Eigenschaft infolge der Homozentizität seiner sämtlichen Flächen. Bei dem Übergang eines Strahles AB (Fig. 9) von einer Fläche zur nächsten liegt der Schnittpunkt D dieses Strahles mit der optischen Achse nicht in verschiedenen Entfernungen von dem Krümmungsmittelpunkte der beiden Flächen, denn der Krümmungsmittelpunkt ist für beide derselbe C. Aus dem Dreieck ACB, in dem die Seiten AC und BC die Krümmungsradien r_1 und r_2 der beiden Flächen sind, kann ohne weiteres der Auffallswinkel φ_2 und somit auch der Brechungswinkel ψ_2 an der zweiten Fläche berechnet werden, wenn der Austrittswinkel ψ_1 an der ersten Fläche bekannt ist.

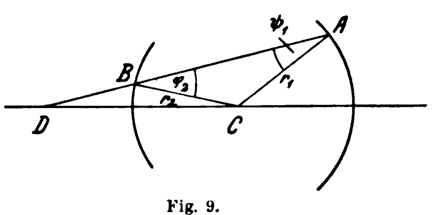


Fig. 9.

Nimmt man nun an, daß ein der Achse paralleles Strahlenbündel von der Öffnung 0 auf das System falle, so ist

$$\sin\varphi_1 = \frac{0/_2}{r_1}\cdot\frac{1}{n'},$$

$$\sin\varphi_2 = \sin\psi_1\frac{r_1}{r_2}\frac{n'}{n},$$

$$\sin\varphi_3 = \sin\psi_2\frac{r_2}{r_3}\frac{n}{n'},$$

$$\sin\varphi_4 = \sin\psi_3\frac{r_3}{r_4}n',$$

woraus folgt

$$\sin\psi_4 = \frac{0/_2}{r_4}.$$

Fällt also ein Strahl parallel zur optischen Achse auf das System, so ist der Austrittswinkel aus dem System, d. h. der Winkel des austretenden Strahles mit der Normalen in dem Austrittspunkt nur abhängig von der Eintrittshöhe $0/_2$ und dem Radius r_4 der letzten Fläche, also nicht von den Krümmungen der vorhergehenden Flächen und nicht von den Brechungsverhältnissen der Glasarten der Strahlen verschiedener Wellenlängen. Alle Strahlen verschiedener Farben haben denselben Austrittswinkel. Da man von vornherein nicht annehmen kann, daß sie an demselben Punkte austreten, so ist allerdings durch diese Eigenschaft noch nicht gewährleistet, daß sie die optische Achse in demselben Punkte schneiden.

4. Euroskopisch-aplanatisches Mikrometer-Okular von Mittenzwey.

Unter die letzte Gruppe würde auch das in der Überschrift genannte Okular gehören. Ambronn sagt darüber: Es besteht aus einem sphärisch und achromatisch stark überkompensierten System aus drei miteinander verkitteten Linsen und einer einzelnen konkav-konvexen Augenlinse, welche gleich große, aber im entgegengesetzten Sinne wirkende Fehler besitzt. Das Okular ist völlig reflexfrei, hat großen Abstand von der Bildebene des Objektivs und ein sehr großes scheinbares Gesichtsfeld und erfüllt alle orthoskopischen und achromatischen Bedingungen sehr gut.

Es wäre also sehr wünschenswert, wenn die Leistungen dieses Okulars in Vergleich zu denjenigen der bisher betrachteten Konstruktionen gestellt werden könnten. Leider war es mir aber nicht möglich, authentische Einzelangaben über seine Konstruktion zu erlangen. Das einzige war eine Notiz von der Naturforscher-Versammlung in Berlin im Jahre 1886, wo die Firma Hartmann und Braun ein solches Okular unter der Bezeichnung „Euriskopisch-aplanatisches Okular“ vorgeführt hatte unter dem Hinzufügen, daß es ein ganz ebenes scheinbares Gesichtsfeld von 53 Grad und Aplanatismus innerhalb und außer der Achse besäße und die Brennweite für Rot und Blau dieselbe sei.

Für die dazu verwendeten Glasarten wurde angegeben:

	Kron		Flint
n_{rot}	1,5146	n'_{rot}	1,6175
$n_{grün}$	1,5280	$n'_{grün}$	1,6452

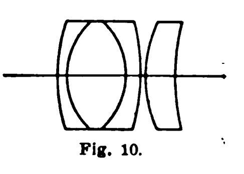
Es ist daraus zu schließen, daß es sich um die Glasarten handelt:

Chance Hard Crown		*Chance Dense Flint*	
n_C	1,5146	n'_C	1,6175
n_D	1,5172	n'_D	1,6226
n_F	1,5232	n'_F	1,6348


Digitized by Google

Die Radien und Dicken der Linsen sollten sein (Fig. 10):

		r_1 — 60,0	
d_1	5,0		Kron
		r_2 — 23,4	
d_2	0,0		Luft
		r_3 + 40,4	
d_3	1,5		Flint
		r_4 — 12,36	
d_4	10,5		Kron
		r_5 — 10,5	
d_5	1,5		Flint
		r_6 — 19,8	


Fig. 10.

Die mit diesen Daten jetzt vorgenommene Durchrechnung ergab

Achsenstrahlen

Brennweite für den Strahl C 35,92
" " " " D 36,00
" " " " F 36,25
Vereinigungsweite für den Strahl C 34,72
" " " " D 34,82
" " " " F 35,20

Randstrahlen

Brennweite für den Strahl C 33,88
" " " " D 35,91
" " " " F 36,15
Vereinigungsweite für den Strahl C 34,56
" " " " D 34,24
" " " " F 35,01

Kugelgestaltfehler

für den Strahl C 0,16
" " " D 0,18
" " " F 0,19

Farbenfehler

in der Achse $C - F$ 0,33
am Rande $C - F$ . . . . 0,45.

Das scheinbare Gesichtsfeld ist keineswegs 53 Grad, schon bei 35 Grad findet totale Reflexion an der Fläche r_5 statt. Es konnte deshalb die Durchrechnung nur für ein halbes scheinbares Gesichtsfeld von 15 Grad vorgenommen werden. Dafür ergab sich:

Austrittswinkel am Rande des Gesichtsfeldes

für den Strahl C . . . . 12,76°
" " " F . . . . 12,38°,

so daß nicht nur eine starke Verzerrung, sondern auch ein verhältnismäßig großer farbiger Rand vorliegt. Man kann deshalb die Vermutung nicht unterdrücken, daß die mitgeteilten Angaben nicht richtig sind, denn die aus der Rechnung folgenden Fehler entsprechen in keiner Beziehung den bei Ambronn hervorgehobenen vorzüglichen Eigenschaften dieses Okulars.

D. Zusammenfassung.

Es lohnt sich, zum Schluß eine Zusammenstellung der Ergebnisse sowie eine Übersicht über die hauptsächlichsten Fehler der verschiedenen Okulare zu geben.

Sämtliche Okulare haben dieselbe Brennweite (36,45) und dieselbe Öffnung (3,0) des Achsenstrahlbüschels. Es ist in dieser Zusammenstellung als Kugelgestaltfehler derjenige für die Brechungsverhältnisse der Linie D angeführt, als Farbenfehler der

Digitized by Google

Unterschied der Vereinigungsweite der Strahlen C und F. Nur bei dem Kellnerschen Okular ist der Unterschied zwischen D und F angegeben. Als geforderter halber Gesichtsfeldwinkel ist 20 Grad angenommen mit Ausnahme beim Krüssschen Okular bei dem homozentrischen Okular von Steinheil und bei dem Mittenzweyschen Okular, wo 15 Grad angenommen sind. Als Neigung ist die Abweichung des Winkels des nach der Okularseite austretenden Strahles C von 20 (bzw. 15) Grad, bei Kellner statt dessen Strahl D. Eine positive Größe für die Neigung bedeutet eine Vergrößerung des Bildes. Als Maßstab für den farbigen Rand dient der Winkelunterschied des austretenden F-Strahles gegen den C-Strahl, bei Kellner gegen den D-Strahl. Eine positive Zahl bedeutet hier einen blauen Rand, eine negative gelben Rand.

	Kugelgestaltfehler	Farbenfehler	Verzerrung	Farbiger Rand
Okulare aus zwei getrennt stehenden Linsen. Bild außerhalb der Linsen				
Bestes Okular aus zwei gleichen Linsen .	0,12	0,50	+ 0,06	— 0,06
Ramsdensches Okular 5:4:9	0,20	0,57	+ 0,38	+ 0,14
„ „ 5:4,62:9 . . .	0,23	0,58	0,00	+ 0,11
Kellnersches Okular	0,23	0,02	+ 0,42	+ 0,06
Bild zwischen den Linsen				
Huyghenssches Okular 1:2:3	1,10	1,34	+ 0,86	— 0,05
„ „ 1:2,41:3 . . .	2,53	2,18	0,00	+ 0,30
Mittenzweysches Okular	0,69	0,89	+ 1,25	0,00
Okulare aus einer bzw. mehreren verkitteten Linsen				
Gleichseitig bikonvexe Linse	0,11	0,60	+ 5,14	+ 0,52
Dreifaches Okular von Krüss	0,07	0,04	+ 0,29	— 0,08
Homozentrisches Okular von Steinheil .	0,01	0,02	— 0,47	— 0,17
Mittenzweysches Okular	0,18	0,33	— 2,24	— 0,28

Die interferometrischen Methoden zur Messung von engen Doppelsternen und Fixsterndurchmessern.

Von

K. F. Bottlinger in Berlin-Babelsberg.

Bevor ich auf die Beschreibung der verschiedenen Formen der Sterninterferometer eingehe, seien die in Betracht kommenden Formeln aus der Theorie von der Diffraktion und Interferenz des Lichtes vorausgeschickt. Die auflösende Kraft eines Fernrohres ist bekanntlich, abgesehen von atmosphärischen Einflüssen, durch die Beugung des Lichtes begrenzt. Von einer punktförmigen Lichtquelle, also den meisten Fixsternen, entsteht ein helles Zentralbild mit mehreren Interferenzringen darum. Ist d der Durchmesser des Objektivs, λ die wirksame Wellenlänge des beobachteten Lichtes, dann ist der Durchmesser des Zentralbildes bis zum dunklen Ring gerechnet in Winkelmaß $\alpha = 2\,\Gamma\frac{\lambda}{d}$, wo Γ eine Konstante ist, die von der Form der Öffnung abhängt und bei Kreisform 1,22 beträgt. Bei einem Objektiv von 65 cm Öffnung, z. B. dem Babelsberger großen Refraktor, wäre bei idealer Optik und Luftbeschaffenheit $\alpha = 0{,}38''$. Die Brennweite der Linse selbst geht in diese und alle folgenden Formeln nicht ein. Ein Doppelstern von dieser Distanz wäre noch deutlich ge-

Digitized by Google

trennt zu sehen. Bei wesentlich geringerer Distanz erblickte man nur noch ein etwas verlängertes einfaches Zentralbild. Man kann wohl sagen, daß eine Auflösung bis zu etwa $\frac{\alpha}{2}$ möglich ist. Aufgabe des Interferometers ist es, das Beugungsbild durch Änderung der Objektivöffnung so umzugestalten, daß man noch geringere Distanzen als mit der vollen Öffnung messen kann.

Denken wir uns das Objektiv eines Fernrohres bis auf zwei kleine, diametral gegenüberliegende Öffnungen, deren Durchmesser d sei, während ihr gegenseitiger Abstand D ist, abgedeckt, dann ist der Durchmesser des Zentralbildes einer punktförmigen Lichtquelle $\alpha = 2\,\Gamma\frac{\lambda}{d}$, wo bei rechtwinkliger Öffnung $\Gamma = 1$ wird. Da aber das durch die beiden Öffnungen dringende Licht interferiert, so ist das Beugungsscheibchen von Interferenzstreifen durchzogen, die senkrecht zur Verbindungslinie der beiden Öffnungen stehen und den Abstand $\gamma = \frac{\lambda}{D}$ haben.

Beobachten wir einen Doppelstern, dessen Distanz kleiner ist als $\alpha = 2\,\Gamma\frac{\lambda}{d}$, so überdecken sich die Interferenzbilder der beiden Komponenten. Sind z. B. die beiden Komponenten gleich hell und stimmt der Positionswinkel des Doppelsternpaares mit der Verbindungslinie der beiden Öffnungen überein und ist ferner die Distanz $\beta = \frac{\gamma}{2}$, dann fallen, da die Strahlen der beiden Komponenten auf die beiden Öffnungen bereits mit verschiedenem Gangunterschied treffen, die hellen Interferenzstreifen der einen Komponente mit den dunklen der anderen zusammen, und die Streifen werden unsichtbar oder erreichen bei verschiedener Helligkeit der Komponenten in dieser Stellung ein Minimum der Sichtbarkeit. Die praktische Ausführung der Doppelsternmessungen geschieht aber, wie später ausgeführt wird, in etwas anderer Weise. Aus den oben angeführten Formeln sieht man, daß die auflösende Kraft des Interferometers bis $\frac{\lambda}{2D}$ geht, wogegen die des Fernrohrs mit voller Objektivöffnung bei $1{,}22\cdot\frac{\lambda}{D}$ ihr Ende hat, wobei nicht vergessen werden darf, daß mit dem Interferometer noch exakte Messungen möglich sind, was bei den direkten Beobachtungen schon in einiger Entfernung von der Meßgrenze nicht mehr der Fall ist. Man kann aber auch beim Interferometer noch über die eigentliche Grenze hinausgehen, indem man bei verschiedenen Stellungen der Öffnungen das Maximum und das Minimum der Sichtbarkeit der Interferenzstreifen schätzt.

Ist die Lichtquelle nicht punktförmig, sondern besitzt sie eine merkliche Ausdehnung, so werden die Interferenzstreifen verwaschen und können bei geeigneter Stellung der Spiegel ganz verschwinden. Die Öffnung des Hookerteleskops von $100'' = 260$ cm reicht noch nicht aus, um die Streifen beim wahrscheinlich größten scheinbaren Fixsterndurchmesser (Beteigeuze) zum Verschwinden zu bringen. Um hier noch weiter messen zu können, wurde von Michelson folgende Vorrichtung ersonnen.

Vor das Objektiv wird ein Balken mit mehreren Fangspiegeln angebracht (Fig. 1), von denen die äußeren M_1 und M_4 zwei parallele Bündel im Abstand Δ auffangen, während die inneren M_2 und M_3 diese im Abstand D auf das Objektiv werfen und im Fokus vereinigen. Der Abstand der Interferenzstreifen ist durch den Abstand D


Digitized by Google

der inneren Spiegel bestimmt und wie vorher $\frac{\lambda}{D}$. Dagegen wird bei merklich ausgedehnter Lichtquelle der Gangunterschied von den verschiedenen Teilen des Scheibchens nach den beiden Spiegeln M_1 und M_4 schon so verschieden, daß eine starke Veränderung des gesamten Interferenzbildes eintritt und die Streifen in gewissen Stellungen ganz verschwinden können. Ist $F(x)$ die Helligkeitsverteilung in der Lichtquelle, $F(x)\,dx$ also die Intensität eines schmalen Streifens derselben, ferner $C = \int F(x) \cos kx\, dx$, $S = \int F(x) \sin kx\, dx$ und $P = \int F(x)\, dx$, wo $k = \frac{2\pi\Delta}{\lambda s}$ und s die Entfernung der Lichtquelle bedeutet, so ist allgemein die Sichtbarkeit der Interferenzstreifen $V = \frac{1}{P}\sqrt{C^2 + S^2}$. Da bei symmetrischer Helligkeitsverteilung in der Lichtquelle $S = 0$ wird, haben wir hier einfach $V = \frac{C}{P}$. Da die Sterne im allgemeinen, wie wir von der Sonne und auch von verschiedenen Bedeckungsveränderlichen her wissen, keine gleichmäßig leuchtenden Scheiben darstellen, sondern die Helligkeit nach dem Rande hin merklich abnimmt, müssen wir hier die Randverdunklung in der Funktion F einführen. Nimmt man die Intensitätsverteilung auf der Scheibe zu $I = I_0 (R_2 - r^2)^n$ an, so kommt man auf das Integral

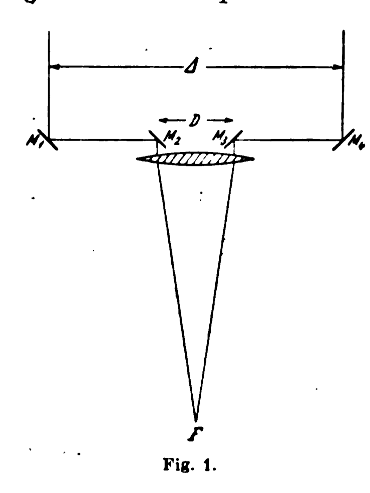


Fig. 1.

$$F(k, n) = \int_0^1 (1 - x^2)^{\frac{2n-1}{2}} \cos kx\, dx,$$

worin n den Grad der Randverdunklung bedeutet. $n = 0$ entspricht einer gleichförmig leuchtenden Scheibe. Bei der Sonne ist angenähert $n = 0{,}4$ und bei den roten Sternen sind theoretisch erheblich größere Werte von n zu erwarten. Es wird dann $V = \frac{F\left(\frac{k,\,n}{}\right)}{F\left(\frac{}{o,\,n}\right)}$. Dieses Integral ist von Moulton numerisch ausgewertet worden, man vergleiche aber die Bemerkung von R. Gans, *Physikal. Zeitschr.* **15.** *S. 335. 1924.*

Die oben angeführten Formeln gelten eigentlich nur für monochromatisches Licht. Anderson hat Untersuchungen über die in Betracht kommenden effektiven Wellenlängen angestellt. (*Astrophys. Journ.* **55.** *S. 48. 1922.*)

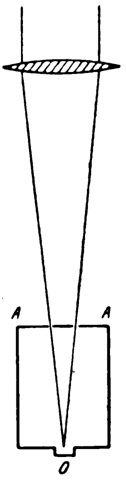


Fig. 2.

Die Konstruktion, die zur Messung von Doppelsternen angewandt wurde (*Astrophys. Journ.* **51.** *S. 263. 1920*) ist sehr einfach. Anstatt der zwei Öffnungen vor dem Objektiv wurde eine Platte A mit zwei Öffnungen in den konvergenten Strahlengang in einiger Entfernung vor dem Okular O eingeschaltet (Fig. 2). Der ganze Apparat von A bis O konnte um die optische Achse gedreht und der Positionswinkel abgelesen werden. Der Abstand der beiden Öffnungen konnte geändert werden. Die Meßmethode war aber anders, als oben beschrieben. Der Abstand der Öffnungen wurde größer, die Distanz der Interferenzstreifen also kleiner gewählt, als der Abstand der Doppelsternkomponenten es erforderte. Dreht man nun das Interferometer im Positionswinkel, so müssen während einer vollen Drehung die Streifen viermal ein Minimum der Sichtbarkeit erreichen, d. h. bei gleicher Hellig-

Digitized by Google

keit der Komponenten völlig verschwinden. Aus diesen vier Ablesungen ergibt sich sowohl der Positionswinkel als die Distanz der Doppelsternkomponenten.

Mechanisch wesentlich komplizierter ist das Interferometer für kleinere Winkelabstände, das hauptsächlich für Durchmesserbestimmungen gedacht ist. Durch die Liebenswürdigkeit von Herrn Pease stehen mir einige gute Originalphotographien zur Reproduktion zur Verfügung.

Der Strahlengang ist hier (Fig. 3) etwas komplizierter als in Fig. 1, da im Cassegrain-Fokus beobachtet wurde. $M_1 M_2 M_3 M_4$ sind die am Interferometerbalken angebrachten Fangspiegel, *a* ist der Hohlspiegel. An der Stelle *d* im Fokus, ist das Okular, durch das die Streifen beobachtet werden.

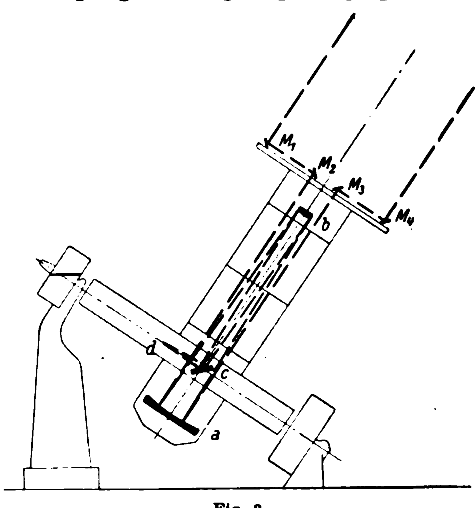


Fig. 3.

Die größte Sorgfalt ist bei der Konstruktion des Interferometerbalkens nötig, da die geringste Biegung große Änderung im Strahlengang hervorruft. Die Seitenwände des Balkens der ganz aus Stahl konstruiert ist (Fig. 4), bestehen aus U-förmigen Stücken (channels), die durch Streben im Abstand von etwa 30 cm (12″) gehalten werden und außerdem der ganzen Länge nach auf der Unterseite mit einer Stahlplatte *C* von 4,75 mm Dicke fest verbunden sind. Soweit es das Material erlaubte, wurden, um das Gewicht zu vermindern, kreisförmige Löcher in die verschiedenen Teile geschnitten. Die Spiegel

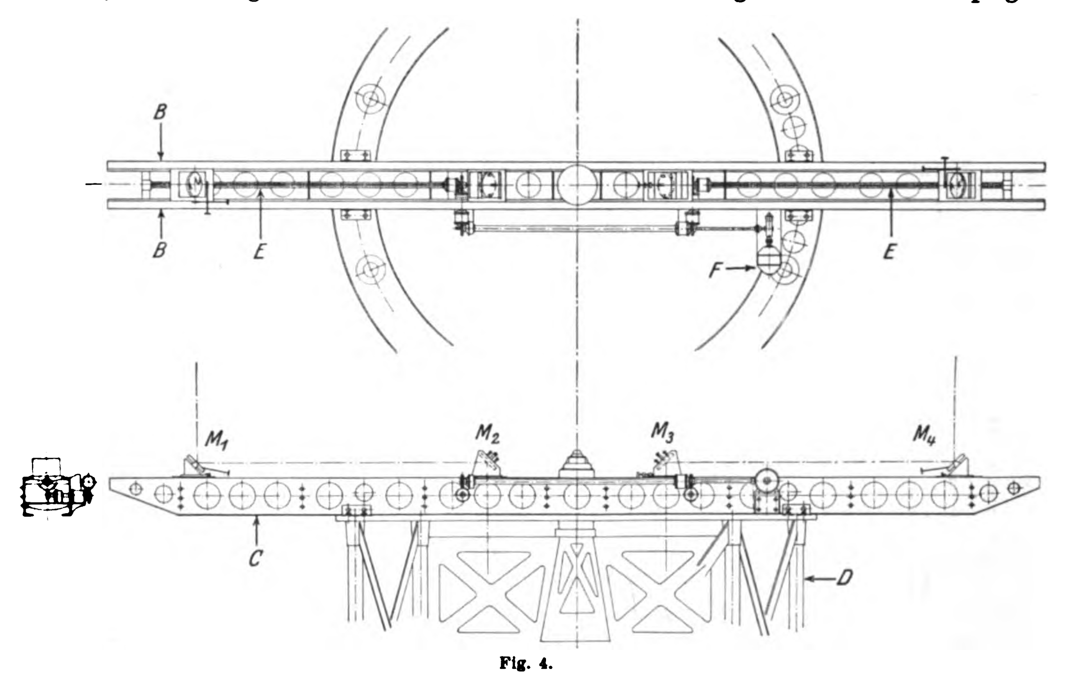


Fig. 4.

M_1 und M_4 sind auf Schlitten mittels der Schraube *E* und eines Motors *F* symmetrisch zur Mitte des Balkens verschiebbar. Die Spiegel M_2 und M_3 haben im allgemeinen einen festen Abstand von etwa 114 cm. Die gesamte Montierung ist in Fig.

Digitized by Google

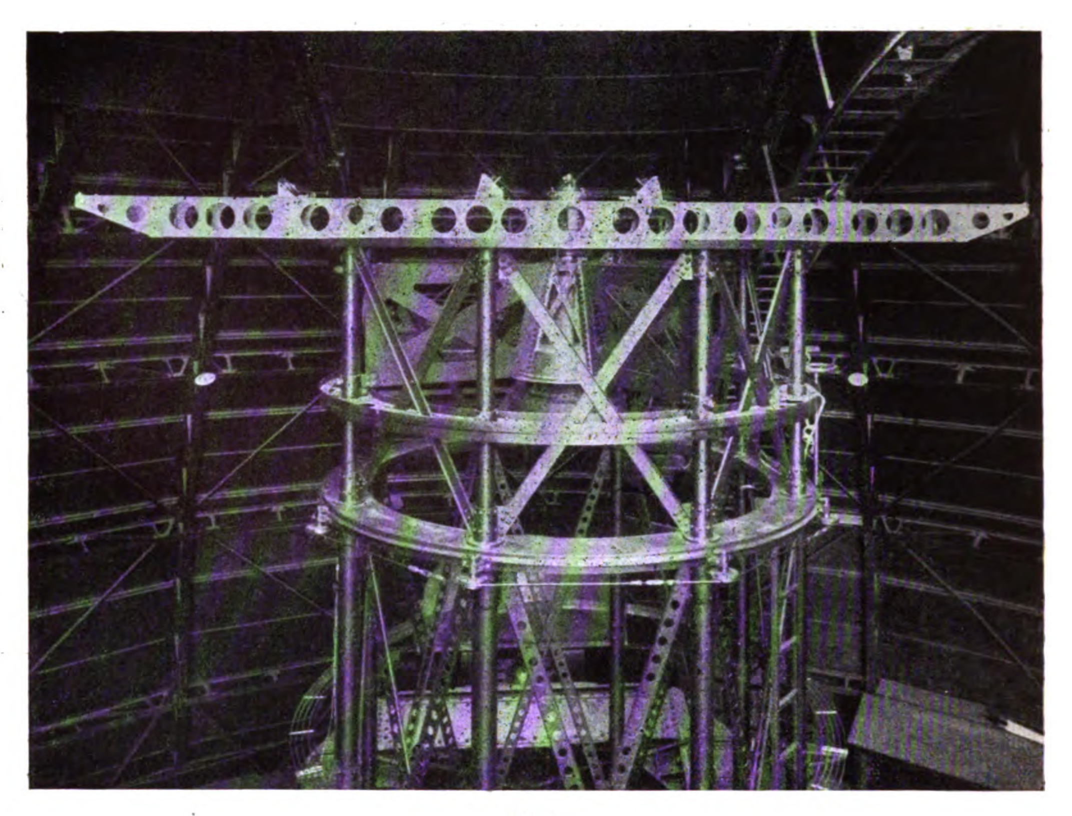


Fig. 5.

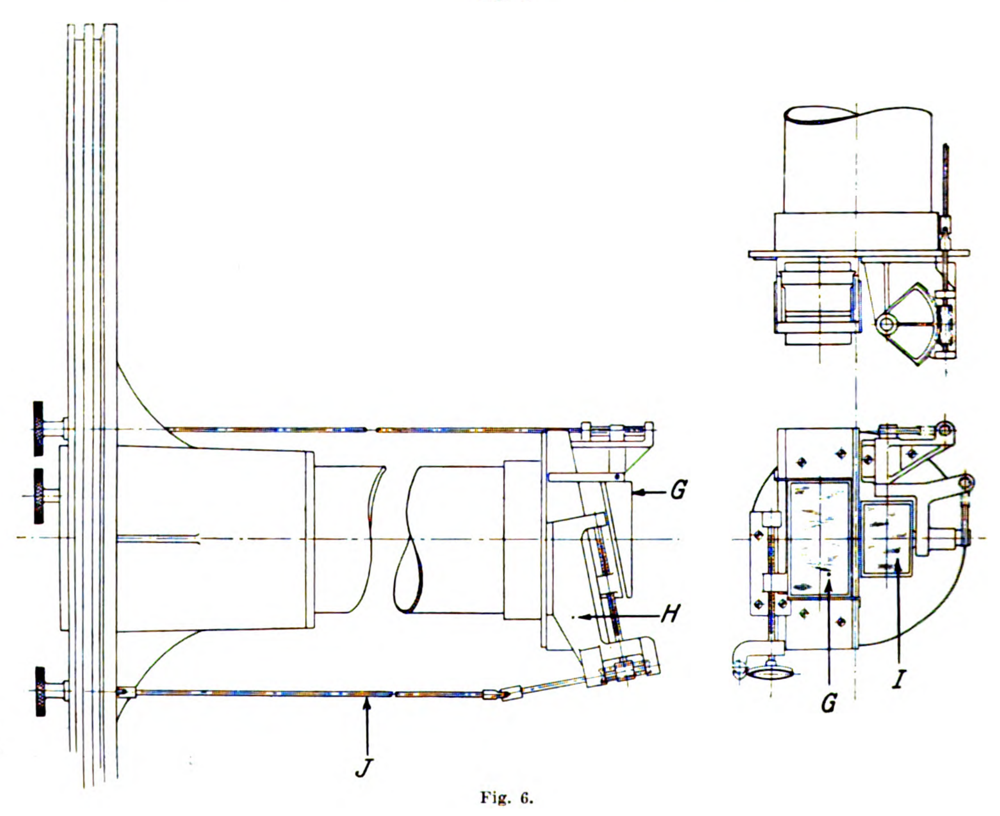


Fig. 6.

Digitized by Google

dargestellt. Damit der mittlere Gangunterschied zwischen beiden Lichtbündeln Null werde, müssen die Abstände $M_1 M_2$ und $M_3 M_4$ gleich sein. Dies wird zunächst durch möglichst genaues Ausmessen erreicht. Die vollständige Regulierung des Gangunterschiedes wird aber durch eine besondere Vorrichtung am Okularkopf bewirkt. Ehe die beiden Strahlenbündel sich vereinigen, wird das eine durch eine planparallele Glasplatte I von 15 mm Dicke (Fig. 6) geleitet, das andere durch zwei gegeneinandergestellte Keile G und H, von denen H durch die Schraube J verschoben werden kann, so daß beide zusammen eine planparallele Platte von verstellbarer Dicke darstellen. Die Platte I kann zur genauen Justierung mittels einer anderen Schraube noch etwas geneigt werden. Die Figuren 7 und 8 zeigen die Ansicht des Okularkopfs von zwei verschiedenen Seiten.

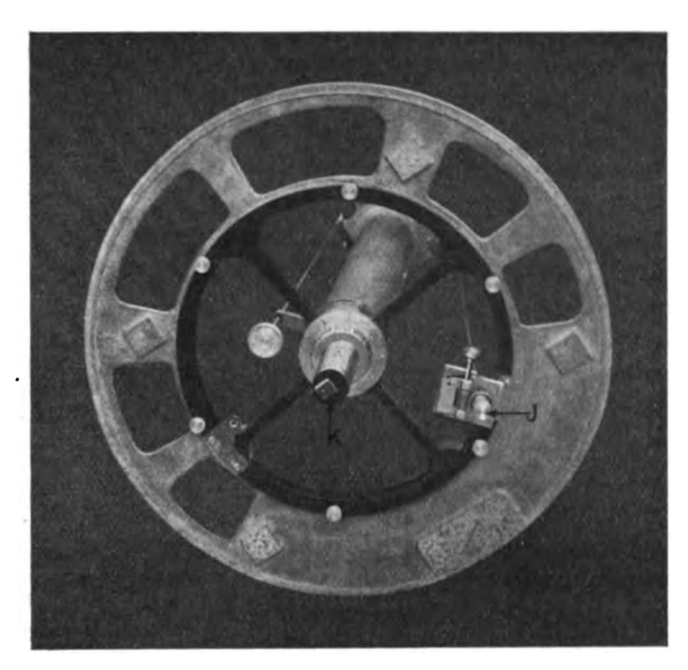


Fig. 7.

Was nun die Messungsresultate mit den beiden Interferometern betrifft, so sind diese prinzipiell ein sehr großer Fortschritt, quantitativ dagegen bisher spärlich. Mit dem ersten Instrument wurde der Stern Capella, der schon lange als spektroskopischer Doppelstern bekannt war, vollständig vermessen und seine Bahn genau festgelegt. Auffallend und nicht völlig geklärt ist es, warum atmosphärische Störungen (Luftschlieren) das Interferenzbild scheinbar wenig beeinflussen. Ferner wurden mehr als 70 andere Sterne auf Duplizität untersucht, aber nur in einem Falle, bei $\varkappa$ Ursae Majoris, der schon vorher als enger Duplex bekannt und infolge weiterer Annäherung der Komponenten in den letzten Jahren nicht mehr trennbar war, gelang es, einige Messungen zu

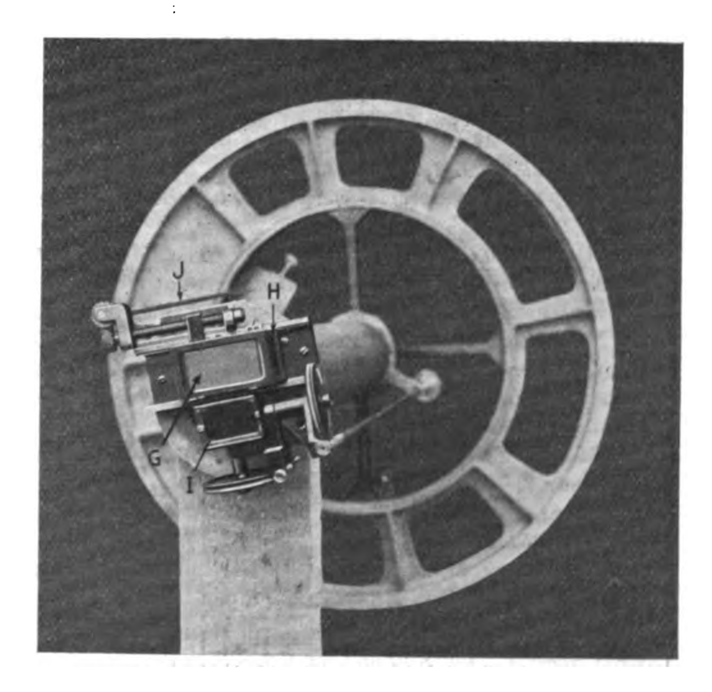


Fig. 8.

Digitized by Google

machen. Der Grund für die geringen Erfolge liegt offenbar darin daß die Distanz, die mit dem Interferometer meßbar ist, ziemlich eng begrenzt ist und vor allem darin, daß die Helligkeitsdifferenz zwischen beiden Komponenten nicht viel mehr als eine Größenklasse betragen darf, damit die Superposition der Interferenzbilder beobachtbar bleibe.

Nicht viel besser steht es mit den Durchmesserbestimmungen. Bisher gelang es nur von vier Sternen die Durchmesser zu messen, das sind Beteigeuze, Antares, Arkturus, Aldebaran. Diese Resultate bedeuten ebenfalls prinzipiell einen großen Fortschritt und sind eine gute Stütze für die Theorie der Sternstrahlung, da sich hier nahezu dieselben Werte ergaben, wie sie theoretisch aus der Strahlung des schwarzen Körpers errechnet waren. Nur Aldebaran zeigt eine kleine, immerhin auffallende Abweichung, liegt aber schon so nahe an der Grenze der Meßbarkeit mit der 6 Meter-Basis, daß sein Wert vielleicht nicht ganz richtig ist. Es ist am Mt. Wilson geplant, ein Instrument mit erheblich größerer Basis zu bauen (50 oder gar 100 Fuß), indes ist über die Erfolge noch nichts bekannt.

Ferner ist zu bemerken, daß die Eintrittsöffnung des Lichtes bei diesen Instrumenten verhältnismäßig klein und außerdem das Interferenzbild ziemlich ausgebreitet ist, so daß nur hellere Sterne gemessen werden können. Würde ein Spezialinstrument von größerer Lichtstärke gebaut werden, was möglich ist, so könnte man in gewissen Fällen den Meßbereich bei Doppelsternen von verschiedener Helligkeit beträchtlich erweitern, nämlich dann, wenn die beiden Komponenten sehr verschieden gefärbt sind, was häufig vorkommt. Man kann dann durch Vorsetzen von entsprechenden Farbfiltern ihre Helligkeitsdifferenz erheblich vermindern. Überhaupt hätten Filter den Vorteil, daß das Licht mehr monochromatisch wird und damit die Interferenzstreifen besser sichtbar werden. Übrigens wurden schon einmal, bei der Durchmesserbestimmung von Antares, Filter angewandt, um das atmosphärische Spektrum des sehr tiefstehenden Sternes zu vermindern. Ob aber bei größeren Instrumenten und noch kleineren Meßdistanzen die atmosphärischen Störungen weiterhin ohne Einfluß bleiben, läßt sich heute nicht sagen.

Zum Schlusse sei noch einmal die Hauptliteratur zum Sterninterferometer angeführt.

A. A. Michelson, *On the application of interference methods to astronomical measurements, Phil. Mag.* **30.** *S. 1. 1890* und *Mem. of the National Academy of Science.* **5.** *S. 577. 1891.*

M. Hamy, *Sur la mesure interférentielle des petits diamètres. Bulletin astronomique* **16.** *S. 257. 1899.*

A. A. Michelson (Kurze Wiederholung der Theorie), *ApJ* **51.** *S. 257. 1920* und *Mt. Wils Contr. 184.*

J. A. Anderson, *Application of Michelsons Interferometer Method to the Measurement of close double stars. ApJ* **51.** *S. 263. 1920* und *Mt. Wils. Contr. 185.*

A. A. Michelson and F. G. Pease, *Measurement of the Diameter of α Orionis with the Interferometer* (Beschreibung des Interferometers). *ApJ* **53.** *S. 249. 1921* uud *Mt. Wils. Contr. 203*

J. A. Anderson, *The Wave-Length in Astronomical Interferometer Measurements. ApJ* **55.** *S. 48. 1922* und *Mt. Wils. Contr. 222.*

P. W. Merrill, *Interferometer Observations of Double Stars. ApJ* **56.** *S. 40 1922* und *Mt. Wils Contr. 240.*

H. Spencer Jones, *The Theory of Astronomical Interferometer Measurements. Monthly Notices* **82.** *S. 513. 1922.*

R. Gans, Bemerkung zur Theorie der Durchmesserbestimmung von Sternen mittels des Interferometers. *Physikal. Zeitschr.* **25.** *S. 335. 1924.*

An dieser Stelle mag auch noch einer Anregung von S. Prokowsky gedacht werden (*Astron. Nachr. Bd. 192. S. 21* und *Bd. 199. S. 377*), der vorschlug, mittels eines ganz anders konstruierten Interferometers durch Auftreten von elliptischer Polarisation Sterndurchmesser zu bestimmen. Es

Digitized by Google

werden von einem Stern zwei parallele Strahlenbündel *a* und *b* im Abstand *D* aufgefangen und in gleicher Richtung polarisiert. Die Polarisationsebene von *b* wird dann um 90° gedreht und nun beide Strahlen wieder vereinigt. Ist die Lichtquelle punktförmig, so zeigt der vereinigte Strahl wenn der Gangunterschied Null ist, lineare Polarisation in einer um 45° gedrehten Ebene (gleiche Intensität der beiden Strahlen vorausgesetzt). Ist die Lichtquelle aber nicht punktförmig, so zeigen die verschiedenen Teile der Strahlenbündel *a* und *b* geringe Gangunterschiede, und die Polarisation ist nicht mehr völlig linear, sondern elliptisch. Durch Messung der größten und kleinsten Amplitude mittels des Polarimeters soll der Durchmesser des Sterns ermittelt werden. Pokrowsky schlägt drei verschiedene Konstruktionen des Interferometers vor. Bis jetzt scheint aber noch kein Versuch gemacht worden zu sein, die Konstruktion wirklich durchzuführen. Theoretisch ist alles in Ordnung, aber, wie der Verfasser selbst hervorhebt, gelten die Fresnelschen Reflexionsgesetze für polarisierte Strahlung in der Praxis nie vollständig. Vor allem treten bei nicht ganz frisch polierten Glasflächen schon nach wenigen Monaten erhebliche Abweichungen von 10 bis 30% auf. Verfasser schlägt deswegen Quarzplatten vor, die widerstandsfähiger sein sollen. Auch dürften die atmosphärischen Störungen sich hier mehr bemerkbar machen als bei der Michelson-Methode. Ein Vorteil der Methode Pokrowskys besteht aber darin, daß man selbst mit einer Basis von nur einem Meter wenigstens bei den hellsten Sternen viel weiter kommt als bei Michelson. Bei einem Stern von der Helligkeit des Sirius wäre ein Durchmesser von 0,0006″ noch meßbar. Der theoretisch für Sirius zu erwartende Durchmesser ist aber mehr als das Zehnfache dieses Wertes.

Mikrometer und Meßapparate III.

Von
Dr. **P. Duckert** in Berlin-Lichterfelde.

(Fortsetzung von S. 494.)

III. Lichtbildmikrometer.

Wenn wir mit dem Vorhergehenden im wesentlichen die Beschreibung der gewöhnlichsten Kreis- und Schraubenmikrometer und der sich daraus entwickelnden Registriertypen verlassen wollen,[1] so muß doch vor dem Übergang zu den indirekten Meßmethoden die Mikrometerart der gewöhnlichen Lichtbildmikrometer etwas ausführlicher behandelt werden. Der prinzipielle Unterschied derselben gegen alle früheren liegt darin, daß die eigentliche Meßvorrichtung sich nicht in der Fokalebene des Objektivs befindet, sondern daß bei ihnen die Messungen nur mittels eines in der Brennebene erzeugten Bildes der Mikrometereinrichtung durchgeführt werden.

Der Grund für diese indirekte Wahl des Meßmittels liegt in der bekannten Tatsache begründet, daß es unmöglich ist, mit einem Spinnwebfaden oder überhaupt einer materiellen Marke im Gesichtsfeld das helle Bild eines Sternscheibchens zu tangieren. Die Beugungstheorie lehrt uns, daß in solchen Fällen das Auge bereits eine Berührung und ein Ineinanderfließen der beiden Objekte vortäuscht, selbst wenn sie räumlich noch erheblich getrennt sind. Es ist dies eine äußerst störende Erscheinung, die besonders bei Doppelsternmessungen von verhältnismäßig engen Sternkomponenten sehr unangenehm in den Vordergrund tritt.

Diesem Übelstand kann man abhelfen, indem nur eine winkelgetreue Abbildung des Mikrometers in das Gesichts- und Meßfeld des Beobachtungsfernrohrs hineinprojiziert wird. Die Arten, wie dies erreicht werden kann, sind so mannigfaltig, daß eine große Anzahl von Mikrometertypen entstanden, die im Prinzip auf der gleichen Grundlage beruhen; die ersten Versuche, derartige Lichtbildmikrometer herzustellen, datieren aus dem Jahre 1826 von C. A. Steinheil. Weitere folgten von Lamont, Littrow, P. Bider u. a.


Digitized by Google

Erst die von den letzteren vorgeschlagenen Ausführungen gewannen praktisch an Bedeutung, da bei ihnen nicht mehr wie früher erhebliche Teile des Lichtkegels durch die Meßvorrichtungen weggeblendet werden. Das Mikrometer wird bei ihnen an einer beliebigen Stelle des Instrumentes außerhalb des Lichtkegels angebracht und durch doppelte Brechung an Prismen in den Strahlengang hineingezogen.

Diese Ausführung als solche gibt naturgemäß sehr zu Bedenken Anlaß, weil zu viel vermittelnde Zwischenlinsen im Strahlengang als veränderliche Faktoren auftreten können, die sich einer Überwachung und Kontrolle vollkommen entziehen. Die einzige Type, der in dieser Hinsicht etwas mehr Vertrauen entgegengebracht werden konnte, war eine Ausführung von H. Grubb. Wie Fig. 18 zeigt, ist das wesentliche Merkmal der Konstruktion ein zweites Rohr *b*, das den Okulartubus *a* senkrecht durchbohrt. Es enthält auf der einen Seite das Mikrometer *c*, auf der anderen einen Hohlspiegel *d* mit Oberflächenversilberung. Im Kreuzungsknie der beiden Röhren sitzt eine schräge Blende *e*, die den Lichtkegel des Abbildungsobjektivs ungehindert passieren läßt. Auch das Lichtbündel von Mikrometer *c* zum Hohlspiegel *d* kann ungehindert durch sie hindurchtreten. Erst der von *d* reflektierte Teil des Lichtes wird zum größten Teil an den Blendenrändern reflektiert und gelangt so durch einen Linsenring *f* orientiert in das Gesichtsfeld *g* des Fernrohrs.

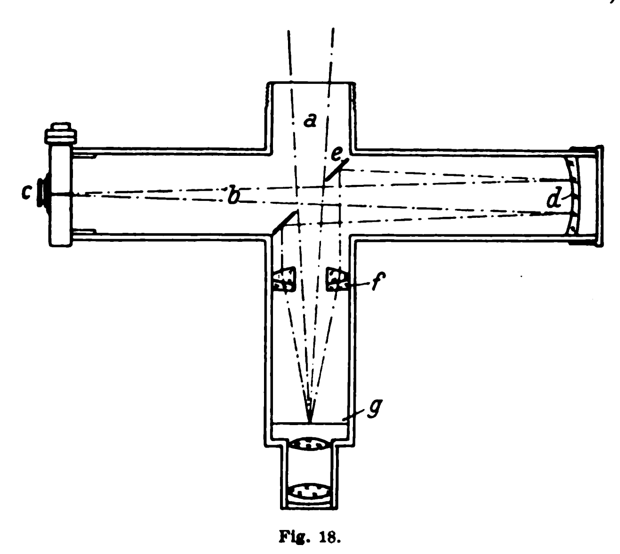


Fig. 18.

Häufiger Anwendung haben sich diese Mikrometertypen allerdings nie erfreut, da der geringe genannte Vorteil der besseren Auffassung die erhebliche Anzahl von Nachteilen der Konstruktion nicht aufwiegen konnte. Vor allem sind die Fehlerquellen bei dieser Art der indirekten Meßmethode unübersehbar groß.

IV. Doppelbildmikrometer.

Derselbe Gedanke, der zur Konstruktion der Lichtbildmikrometer führte, hat auch eine andere Art von Mikrometern entstehen lassen, die ein größeres Interesse verdienen. Die Beugungseffekte an materiellen Mikrometerfäden sind, wie schon erwähnt, bei vielen Beobachtungsreihen derart störend, daß immer wieder nach Abhilfe gesucht werden mußte. Hinzu kommt noch, daß es eigentlich im Prinzip falsch ist, zwei Bilder von verschiedenen Gestirnen zeitlich nacheinander zu pointieren, da wir uns ja über die in der Zwischenzeit entstandenen Änderungen in dem Zustand der Luftschichten, sei es durch Temperaturschwankungen, sei es durch Luftströmungen im Beobachtungshaus und Ähnliches mehr, gar kein zuverlässiges Bild machen können. Es ist auch von Grund aus verkehrt, zwei durch kleine Unruhen, Schwankungen und wahre Bewegungen mehr oder weniger bewegte Punkte mittels einer an sich feststehenden Einrichtung einer Messung zu unterziehen. Die resultierende stete Gegeneinanderbewegung der im Gesichtsfeld sichtbaren Objekte läßt naturgemäß einen

Digitized by Google

absolut sicheren Schluß auf die Distanzen dann nicht zu. Daß derartig störende Schwankungen dauernd vorhanden sind, weiß aber jeder Beobachter.

Das diesem Übelstand zum großen Teil abhelfende Prinzip der Doppelbildmikrometer ist kurz folgendes:

Von dem auf seine Lage zu untersuchenden Objekt erzeugt man ein Doppelbild mittels einer Apparatur, die es gestattet, die Distanzen der beiden Einzelbilder als Funktion der meßbaren Veränderung einzelner Apparatteile darzustellen. Von den sich dann bietenden Meßmöglichkeiten sei nur der eine Fall der Stern-Distanz-Messung kurz vorweg beleuchtet. Die beiden Gestirne, die der Messung unterzogen werden sollen, werden in je zwei Bilder zerlegt. Durch Drehung der Apparatur in einen vorgesehenen Positionskreis werden die vier Einzelbilder in eine Gerade gebracht und dann versucht, abwechselnd die entsprechenden Bilder der beiden Gestirne zur Deckung zu bringen. Die dann erhaltenen Daten über die örtlichen Verschiebungen am Instrument lassen einen äußerst genauen Rückschluß auf den Abstand der beiden Objekte voneinander zu. Wie dies im einzelnen bei den verschiedenen Ausführungen geschieht, soll weiter unten an Hand von Skizzen genauer gezeigt werden. Schon das Prinzip zeigt, daß alle angedeuteten Mängel restlos behoben sind. Es kommt nur noch ein Vergleichen zweier Bilder im gleichen Augenblick in Frage. Die Beugungseffekte fallen weg. Außerdem kommt noch der wesentliche Vorteil hinzu, daß eine Gesichtsfeldbeleuchtung nicht notwendig ist.

Der prinzipielle Grundgedanke zur Ausführung eines Doppelbildmikrometers scheint vollkommen unabhängig voneinander von dem Engländer Savery und dem Franzosen Bougner um 1750 herum erkannt zu sein. Beide Instrumente beruhen auf der Abbildung eines Objektes durch zwei verschiedene Objektive; sie unterscheiden sich nur dadurch, daß Savery die beiden Objektive nur in einem bestimmten Winkel gegeneinander geneigt in geringem Abstand fest montiert hatte, während Bougner die Entfernung der beiden Objektive mittels Mikrometerschraube variieren konnte. Die Unzulänglichkeit beider Methoden liegt klar auf der Hand, da sowohl die direkte Nullpunktbestimmung als auch die Elimination desselben ebenso wie die Messung von kleineren Distanzen unmöglich sind. Einen ganz erheblichen und wesentlichen Fortschritt erzielte Dollond, als er die beiden verwandten Objektive verwarf und vor ein gewöhnliches Objektiv ein zweites mit negativer Brennweite setzte, welches in Richtung seines Durchmessers in zwei Teile geteilt war, die einzeln mittels Mikrometereinrichtung gegeneinander verschoben werden konnten. Durch die Wahl der negativen Zusatzlinse erreichte Dollond gleichzeitig eine erhebliche Vergrößerung des an und für sich kleinen Effektes. Die grundlegendste Verbesserung bis zu dem bekannten Heliometer hin, wie man heute derartige Instrumentarien bezeichnet, stammt von Fraunhofer, der den großen Schritt zur direkten diametralen Zweiteilung des gesamten achromatischen Objektives tat. Bei ihm erhielt auch das Bewegungsmikrometer der beiden Einzelteile die Bedeutung eines wirklichen Präzisionswerkzeuges. Es stellte dann in dieser Ausführung, mit einem großen Positionskreis zur Drehung des Objektivs versehen, die vollkommenste derartiger Instrumente dar, besonders da die Fa. Repsold sich für spätere Verbesserungen stets erheblich interessiert hat. Eine ausführliche Theorie des Instrumentes wird in dem Aufsatz „Vergleichende Mikrometermessungen“ (Astronom. Nachr.) vom Verfasser demnächst erscheinen, so daß ich an dieser Stelle darüber hinweggehen kann, um so mehr, da gerade über die Ausführungsform des sog. Objektiv-Mikrometers bzw. Objektiv-Heliometers außerordentlich reichhaltige Literatur vorhanden ist.


Digitized by Google

Die zweite Möglichkeit, eine Bildverdoppelung zu erzielen, besteht bei den astronomischen Fernrohren nun darin, dieselben durch das Okular oder Teile desselben zu bewirken. Man faßt daher die nachfolgenden Instrumenttypen unter dem Namen Okular-Mikrometer bzw. Okular-Heliometer zusammen. Die nicht ganz zutreffende Bezeichnung „Heliometer" hat ihren Ursprung in dem ersten Anwendungszweck des Doppelbildmikrometers, der besonders die Sonnenvermessung verfolgte.

Für die weitere Behandlung dieser Mikrometerarten erscheint es mir wesentlich, zunächst einen Näherungswert für den Einfluß der Trennung und Verschiebung der beiden Hälften eines an beliebiger Stelle in den Strahlengang eingeschalteten Linsensystems zu geben.

Die Gesamtbrennweite des Systems sei F
die beiden Einzelbrennweiten $f_1 f_2$
der Abstand der beiden Systemteile e
die wahre lineare Verschiebung der halben Linse (f_2) m
die wahre Bildverschiebung l
die Bildverschiebung im Winkelwert vom zweiten Hauptpunkt aus gesehen ε.

Dann ist

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{l}{F},$$

$$F = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - e}.$$

Dieser letztere Wert in die obere Gleichung eingesetzt ergibt:

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{l (f_1 + f_2 - e)}{f_1 f_2}.$$

Bei den kleinen in Frage kommenden Winkeln kann man ohne Fehler setzen:

$$\varepsilon'' = \frac{l \cdot (f_1 + f_2 - e)}{f_1 f_2 \cdot \sin 1''}.$$

Benutzt man nun die aus der Annahme folgende Beziehung

$$l \cdot (f_1 + f_2 - e) = m (f_1 - e),$$

so ergibt dies die Relation

$$\varepsilon'' = \frac{m \cdot (f_1 - e)}{f_1 f_2 \cdot \sin 1''}$$

oder

$$\varepsilon'' = \text{konst. } m,$$

wo konst. die Fernrohrkonstante

$$\text{konst.} = \frac{f_1 - e}{f_1 f_2 \cdot \sin 1''}$$

vorstellt.

Die angegebene Formel gestattet es unter Vernachlässigung der verschiedenen, die Schärfe der Bilder bestimmenden Bildfehler den Einfluß einer an einer beliebigen Stelle des Strahlenganges eingeschalteten geteilten negativen oder positiven Linse zu errechnen.

Das erste dieser sog. Okular-Heliometer war das von Amici gebaute Doppelbildmikrometer. Er verwendete im Strahlengang kurz vor dem Okular eine geteilte positive Linse und verschob die beiden Hälften derselben längs der diametralen


Digitized by Google

Trennungslinine. Die Einwirkung auf den Abstand der entstehenden Doppelbilder voneinander kann ebenfalls nach dem oben genannten Verfahren ohne weiteres bestimmt werden, da es ja praktisch gleichgültig ist, ob die Verschiebung längs der Trennungslinie oder senkrecht dazu erfolgt.

Die Ablesung der Orientierung der Trennungslinie und die Größe der Verschiebung der Linsenteile zueinander erfolgt in einfachster Weise durch einen Positionskreis und eine Meßschraube bzw. einfacher mittels Skala mit Index. Bemerkenswert ist es, daß, wie ja bekannt, der Einfluß der eingeschobenen Linsen kurz vor dem Brennpunkt des Hauptobjektivs auf die Abbildung ein verhälnismäßig geringer ist. Es treten allerdings bei ihm farbige Begrenzungen und vor allem Beugungserscheinungen auf; auch sonst sind noch kleine Mängel mannigfaltiger Art zu beheben gewesen.

Erst den Bemühungen Steinheils ist es zu danken, daß dieselben zum größten Teil verschwanden. Er verwendete achromatische Objektive an Stelle der einfachen Positivlinse und legte die Beobachtungsstelle der Koinzidenzen der Bildpaare dadurch dauernd an die Hauptachse des Objektivs, daß er beide Hälften des als Mikrometer dienenden Okulars zwecks gemeinsamer Bewegung in entgegengesetzter Richtung koppelte. Ein Idealfall von Abbildung konnte natürlich auch mit diesen primitiven Hilfsmitteln nicht erreicht werden. Eine Bildverbesserung der hauptsächlich durch Beugung verursachten Fehler schlug später R. Daves vor, der verschieden gestaltete Blenden in den Strahlengang einführte. Besonders Ellipsen von den Achsendimensionen:

große Achse = Objektivdurchmesser
kleine Achse = Objektivradius

spielten in seinen Versuchen eine große Rolle. Auch zwei genau diametral liegende kleine Kreisblenden mit je einem Durchmesser von der Größe des Objektivradius zeigten sich als sehr geeignet, den Fehler zu reduzieren. Die damit verbundene Tatsache der Reduktion der Gesamthelligkeit spielt hierbei keine ausschlaggebende Rolle, da der zu beseitigende Fehler durch Beugungseffekte naturgemäß nur bei besonders grellen Lichteffekten stark hervortritt, dort also, wo eine Herabsetzung der Helligkeit schon an und für sich im Interesse der Meßgenauigkeit liegt. Die Größe und Gestalt der Blenden läßt sich übrigens ebenso wie der Blendenort, an dem sie in den Strahlengang eingeführt werden müssen, leicht berechnen.

Die einzelnen Versuche, das beste Okular-Heliometer herzustellen, führten auf eine derartig mannigfaltige Art von verschiedenen Mikrometertypen, daß hier nur gedrängt die wichtigsten Erwähnung finden können.

Bei den Hauptformen wird im allgemeinen eine der Okularlinsen in zwei Teile zerschnitten und die meßbare Verschiebung dieser beiden Teile zu Mikrometermessungen zwecks Rückschlusses auf die Distanzen des Doppelbildes ausgenutzt. Der Vorteil jedes Okular-Heliometers liegt im übrigen insofern klar zutage, weil bei seiner Verwendung die Unvollkommenheiten und Fehler der als Mikrometer benutzten Linsen nicht mehr allzu stark vergrößert werden. Das ist auch der Grund, der die allgemeinere Verwendung des Objektiv-Mikrometers immer noch hemmte. Da man geteilte Objektive nur mit mehr oder weniger großen Fehlern behaftet herstellen konnte, mußte man es in Kauf nehmen, daß im Bild eine außerordentlich starke Vergrößerung des Objektivfehlers die Sternbilder verfälschen. Wesenlich weiter schritt die Entwicklung erst mit der zufälligen Entdeckung der zweckmäßigen Verwendbarkeit eines terrestrischen Okulars für diese Zwecke, wenn man die, vom Objektiv aus gerechnet, zweite Linse als geteilte verwendete. Ihrer allgemeinen Benutzung stand jetzt nur noch die pris-


Digitized by Google

matische Wirkung der geteilten Linsen entgegen, die eine Farbenzerlegung bewirkte und vor allen Dingen die Tatsache, daß die beide auf die eine oder andere Art erzeugten Einzelbilder eine beträchtliche Ungleichmäßigkeit in der Helligkeit aufwiesen.

In verhältnismäßig einfacher Weise entwickelte Airy aus diesem Wust eine Type, die äußerst sinnreich ist und alle angedeuteten Fehler in stark reduziertem Maße nur noch enthält. Er erkannte, daß die Zerlegung in gleich helle Bilder dadurch erreicht würde, wenn er die geteilte Linse, er verwendete ebenfalls die zweite, in den Brennpunkt der ersten legen könnte. Sein seit 1841 vorliegendes Modell war eine heute unter dem Namen „achromatisch-terrestrisches Okular“ bekannte Type aus vier Einzellinsen, bei denen er eine Linse durchschnitt, deren Stellung im Linsensystem auf die angedeutete Art markiert war. Die bewegliche Hälfte konnte mittels Mikrometerschraube mit Meßtrommel und Index meßbar verschoben werden. Die für die Messungen wichtige Ablesung der Richtung der Schnittlinien wurde bei ihm durch einen kleinen Positionskreis ermittelt. Der Erfolg des Mikrometers war so groß, daß auch heute noch von allen bisher genannten diese Type die am weitesten verbreitete ist, lediglich mit dem Unterschied, daß als geteilte Linse eine negative Linse verwendet wird.

Die Beseitigung der Fehler bezüglich Farbe und ungleicher Helligkeit ist ziemlich weitgehend gelungen. Daß dies besonders bei Farben in weiten Grenzen stets möglich ist, kann eine einfache Untersuchung andeuten, die auf rein dioptrische Grundlagen aufbaut.

Wenn bei dem verwendeten vierteiligen Okular die Brennweite der Einzellinsen f_1, f_2, f_3, f_4 und die Abstände derselben voneinander d_1, d_2, d_3 sind, so ergibt sich folgende Entwicklung:

Bezeichnet man mit

$$\begin{aligned} A = & - f_1 f_2 f_3 + d_3 f_1 f_2 + (d_2 + d_3) f_1 f_3 + (d_1 + d_2 + d_3) \cdot f_2 f_3 - d_2 d_3 f_1 - (d_1 + d_2) d_3 \cdot f_2 \\ & - (d_2 + d_3) d_1 f_3 + d_1 d_2 d_3 \\ B = & + d_1 d_2 d_3 - d_2 d_3 f_1 - (d_1 + d_2) d_3 \cdot f_2 - (d_2 + d_3) d_1 \cdot f_3 - d_1 d_2 \cdot f_4 + d_3 f_1 f_2 \\ & + (d_2 + d_3) \cdot f_1 f_3 + (d_1 + d_2 + d_3) \cdot f_2 f_3 + d_2 f_1 f_4 + (d_1 + d_2) f_2 f_4 + d_1 f_3 f_4 - f_1 f_2 f_3 \\ & - f_1 f_2 f_4 - f_1 f_3 f_4 - f_2 f_3 f_4 , \end{aligned}$$

so schneidet ein der Achse paralleler Lichtstrahl, der die erste Linse in dem Abstand h von der Achse trifft, die Achse in der Entfernung

$$a = f \cdot \frac{A}{B}$$

von der vierten Linse. Das Auftreffen der Strahlen auf die vierte Linse geschieht in der Entfernung von der Achse

$$b = \frac{h \cdot A}{f_1 f_2 f_3} .$$

Es muß nun $\frac{b}{a}$ als tang des Neigungswinkels gegen die Achse berechnet und die Bedingung der Invarianz bei Änderung des Brechungsindex untersucht werden, die nach *Memoir of the Royal Astronomical of London, vol. XV* und nach Becker, „Mikrometer und Mikrometermessungen“ als Bedingungen für Achromasie des Systems die Gleichungen ergeben:

$$\begin{aligned} O = & f_1 \{ f_2 f_3 + f_2 f_4 + f_3 f_4 - d_3 f_2 - (d_2 + d_3) \cdot f_3 - d_2 f_4 + d_2 d_3 \} \\ & + f_2 \{ - f_3 f_4 + 2 (d_2 + d_3) \cdot f_3 + 2 d_2 f_4 - 3 d_2 d_3 \} . \end{aligned}$$

Digitized by Google

Die Erfüllung dieser Gleichungen ist ersichtlich auf unendlich viele Arten möglich, allerdings nur unter der einen Bedingung, daß alle einzelnen Hauptpunkte der verwendeten Linsen auf der Hauptachse des genannten Systems liegen. Bei Teilung der zweiten Linse würde also trotzdem auch hier eine sicherlich stark störende Dispersionserscheinung auftreten, die den Effekt wieder illusorisch werden läßt.

Eine weitgehende Untersuchung Airys für den verallgemeinerten Fall einer Lateralverschiebung der zweiten Linse ergibt die außerordentlich nahen richtigen engeren Beziehungen, deren Erfüllung Unabhängigkeit des Bildes von der Farbe mit sich bringt:

$$f_1 = \text{beliebig}$$
$$0 = f_2 f_3 + f_2 f_4 + f_3 f_4 - d_3 f_2 - (d_2 + d_3)\cdot f_3 - d_2 f_4 + d_2 d_3$$
$$0 = + f_3 f_4 - 2(d_2 + d_3)\cdot f_3 - 2 d_2 f_4 + 3 d_2 d_3 .$$

Die beiden Gleichungen lassen sich mit den fünf frei veränderlichen Größen beliebig oft erfüllen. Airy verwendete die Konstellation:

$$f_1 = f_1, \quad f_2 = +5, \quad f_3 = +1, \quad f_4 = +1, \qquad d_1 = f_1, \quad d_2 = 2, \quad d_3 = 1{,}75, \qquad F = \frac{4}{5} f_1 .$$

Der Nachteil der großen Brennweiten der Meßlinsen und eines außerordentlich kleinen Gesichtsfeldes wurde durch die Konstellation von Valz behoben, der f_2 negativ wählte und damit zu folgendem Ergebnis kam:

bikonvex	$f_1 = f_1$	$d_1 = f_1$	
bikonkav	$f_2 = -1$	$d_2 = +1$	$F = f_1 .$
plankonvex	$f_3 = +1$	$d_2 = +3$	
bikonvex	$f_4 = +1$		

Die von Airy selbst schon erkannten Nachteile dieser letzten Ausführung, die unter dem Namen „Airy's Doppelbildmikrometer" bekannt geworden ist, waren hauptsächlich:

die Lichtverluste, hervorgerufen durch die große Linsenzahl,
die Sichtbarkeit der Schnittlinien, die er außerordentlich störend bei der Messung empfand und
die Unsicherheit der Positionswinkelbestimmung infolge der durch die Abbildung mittels zweier halbkreisförmiger Linsenhälften etwas verzerrten Bilder.

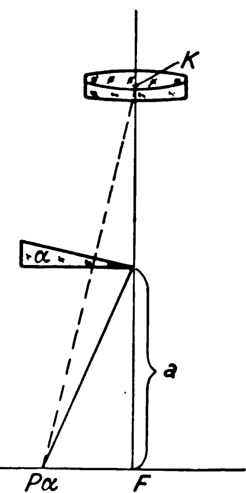


Fig. 19.

Eine wesentliche Verbesserung dieser Mikrometertype konnte aber trotzdem bis heute nicht erreicht werden.

Eine ganz andere Art von Doppelbildmikrometern entwickelte sich nach dem Vorgang von Maskelyne. Dieser verdoppelte erstmalig das Bild irgendeines Objektes durch Einführung eines Prismas in den Strahlengang zwischen Objektiv und Okular (siehe Fig. 19). Bezeichnet man hier mit



K den hinteren Knotenpunkt des Objektives,
F den Brennpunkt desselben,
α den brechenden Winkel des verwendeten Prismas,
a den Abstand des Prismas vom Brennpunkt F,
P_α den Bildpunkt, der durch Ablenkung eines achsenparallelen Strahls entsteht, und mit
n den Brechungsindex des Glases,



Digitized by Google

so wird die scheinbare Winkelablenkung des Objektes errechnet aus:

$$\gamma = (n-1)\cdot\alpha\cdot\frac{a}{f}.$$

Da nun der Wert $\frac{(n-1)\cdot\alpha}{f}$ eine Fernrohrkonstante darstellt, sieht man, daß

$$\gamma = \text{konst.}\ a$$

wird, damit ist aber die Verwendbarkeit des Mikrometers erwiesen.

Denkt man sich nun, zwecks Vermeidung der chromatischen Störungen, das Prisma durch ein achromatisches oder noch besser zur Wahrung der Symmetrie des Bildes durch zwei solche ersetzt, so erhält man in der mechanischen Ausführung ein jedenfalls theoretisch äußerst vollkommenes Mikrometer. Die Berechnungsformel hat man nur entsprechend dem wahren Brechungswert umzugestalten, um die Messungen auswerten zu können. Praktisch hat diese Mikrometerform, deren schematische Darstellung in Fig. 20 noch einmal gegeben sei, keine Bedeutung erlangt, ebenso wie die Form, die von C. A. Steinheil durch Modifikation in die Erzeugung der doppelten Bilder durch Reflexion an Spiegeln entwickelt wurde. Auch dieses Okularprismen-Heliometer wurde selten verwendet; der Fehler beider war die Unmöglichkeit der Verwendung bei engen Bildabständen.

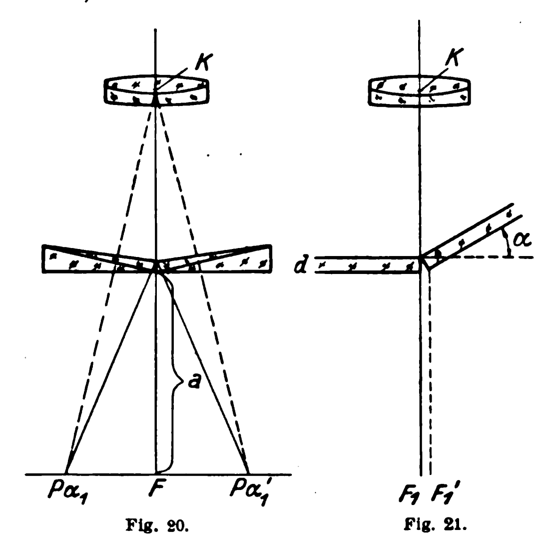


Fig. 20. Fig. 21.

Das gleiche Schicksal hat ein im Prinzip schon besseres System, welches die Verdoppelung nach den Vorgängen von Claussen (*Astron. Nachr.*, *Bd. 18*) dadurch erzeugt, daß eine planparallele Platte zwischen Objektiv und Okular eingeschaltet ist, dessen eine Hälfte unverändert senkrecht zur optischen Achse des Systems stehen bleibt, während die andere eine Kippung um eine derartige Senkrechte erleiden kann. Schematisch angedeutet ergibt sich die Fig. 21. Hier bedeutet

F_1 den Brennpunkt des unabgelenkten,
F_1' den des abgelenkten Strahles,
d die Dicke der Platte,
α den Neigungswinkel der einen Plattenhälfte und
n den Brechungsindex des Glases.

Dann ergibt sich die Distanz der Doppelbilder aus:

$$\overline{F_1 F_1'} = \frac{d}{\cos\alpha'}\cdot\sin(\alpha-\alpha'),$$

wo α' aus $\sin\alpha' = \frac{1}{n}\cdot\sin\alpha$ bestimmt werden kann.

Eine ganz andere Möglichkeit für die Konstruktion von Doppelbildmikrometern entwickelt sich aus der Verwendbarkeit von doppeltbrechenden Kristallen.

Rochow, dessen Konstruktion in erster Linie Erwähnung verdient, verwendete zwei zu einem Würfel verkittete rechtwinklige Bergkristallprismen mit senkrecht aufeinander stehenden optischen Kristallachsen. Hat man dann beispielsweise den Würfel

Digitized by Google

derart in den Strahlengang eingeschaltet, daß das Lichtbüschel den Würfel übereinstimmend mit der optischen Kristallachse des zuerst von Licht durchsetzten Prismas trifft, so wird im ersten Prisma das Licht ungehindert durchgehen, während es beim Eintritt in das zweite Prisma in zwei Strahlen zerlegt wird, von denen der eine wiederum ungehindert passieren kann (ordentlicher Strahl) und der zweite eine Ablenkung nach hier nicht näher zu erläuternden Gesetzen erfährt. Bringt man einen solchen Prismenwürfel in den Strahlengang eines optischen Systems, so ergibt sich die Entfernung der entstehenden Doppelbilder voneinander sowohl als Funktion des Ablenkungswertes des Prismas als auch des Abstandes des Vereinigungspunktes von ordentlichem und außerordentlichem Strahl von dem Brennpunkt des abbildenten Objektivs. Diese Tatsache ergibt wiederum die Verwendbarkeit für mikrometrische Messungen, da der Ablenkungswert des Prismas ja eine instrumentale Konstante ist und man nun durch Verschiebung des Würfels in der Richtung der optischen Achse des Systems die Möglichkeit besitzt, die Distanz der Doppelbilder zu verändern. In der Tat ist mit einem derartigen Mikrometer auf der Sternwarte Paris von Arago weitgehendst gearbeitet worden. Ebenfalls auf der gleichen Eigenheit der doppeltbrechenden Kristalle beruht eine Mikrometerart, die später unter dem Namen „Doppelmikrometer nach Wellmann“ bekannt wurde und ihre Hauptentwicklung V. Knorre, V. Wellmann und M. Brendel u. a. verdankt. Es beruht auf der Tatsache, daß ein in den Strahlengang eingeschaltetes doppeltbrechendes Prisma durch Drehung um die Gesichtslinie dazu benutzt werden kann, eine beliebige Distanz zwischen beispielsweise zwei im Gesichtsfeld ausgedehnten Marken herzustellen. Lohse benutzt als erster diese Anordnung, um Positionswinkelmessungen auszuführen; später hat Wellmann die Verallgemeinerung auch zur Distanzbestimmung praktisch eingeführt. Sein Mikrometer hatte im wesentlichen folgende Anordnung:

Das fest mit einem doppeltbrechenden Prisma verbundene Okular ist auf einer kreisförmigen Scheibe orientiert, welche innerhalb eines geteilten und mittels Nonien ablesbaren Kreises drehbar angeordnet ist. Der Kreis, der seinerseits ein Fadenkreuz trägt, kann um die Fernrohrachse unter Mitnahme des Kreises mit Prisma ebenfalls meßbar gedreht werden. Eine ausführliche Theorie auch dieses Mikrometers findet sich in Becker, „Mikrometer und Mikrometermessungen“. Sie soll daher an dieser Stelle übergangen werden.

Eine Ausnutzung der Interferenzerscheinungen zu mikrometrischen Messungen im Sinne der vorgenannten Beispiele sei nur ganz kurz erwähnt, da in diesem Zusammenhange eine allgemeine Bedeutung nicht erlangt worden ist.

(Fortsetzung folgt.)

Grundlagen für den Voranschlag der Genauigkeitsleistung von einigen Theodoliten bei der Kleindreiecksmessung und bei feinen Zugmessungen.

Von
Karl Lüdemann in Freiberg i. Sa.
(Mitteilung aus den Werkstätten für wissenschaftliche Präzisions-Instrumente der M. Hildebrand G. m. b. H. in Freiberg i. Sa.)

1. Die Grundlage für die wirtschaftliche Erörterung einer auszuführenden Messung ist die Feststellung der durch den Zweck der Messung geforderten Genauigkeit. Für das zur Ausführung der Messung bestimmte, vorhandene oder neu zu beschaffende Vermessungsinstrument ist durch einen Voranschlag seine Leistung in Menge und Güte,


Digitized by Google

seine Eignung und die Wirtschaftlichkeit seiner Verwendung festzustellen, denn die erforderliche Genauigkeit muß bei geringstem Aufwand an Zeit und menschlichen und technischen Mitteln, also mit den kleinsten Kosten, erzielt werden.

Für einen solchen Voranschlag können die im Nachstehenden mitgeteilten Zahlen, die sich aus eigenen Untersuchungen an Hildebrand-Instrumenten ergeben haben, benutzt werden. Sie stellen einen Versuch dar, die Leistung von einigen Theodoliten in ähnlicher Weise — soweit das überhaupt möglich ist — zahlenmäßig zu erfassen, wie das bei Maschinen seit Jahrzehnten eine Selbstverständlichkeit ist. Hierbei ist der abgrenzende Rahmen durch die Benutzung des betreffenden Instruments bei der Kleindreiecksmessung einschließlich der Einzelpunkteinschaltung und bei der feinen Zugmessung und durch die natürliche Beschränkung auf mittlere äußere Verhältnisse gegeben. Es handelt sich also im wesentlichen um die Feststellung der inneren Genauigkeit der Winkelmessung.

2. Die Genauigkeit der Winkelmessung wird im wesentlichen bedingt durch die Schärfe, mit der

a) das Fernrohr — d. h. seine Zielachse — in die Richtung zum Ziel gebracht werden kann;

b) die durch das Fernrohr gegebene Richtung auf den Kreis übertragen und auf ihm in Bogenmaß ermittelt werden kann.

Das Maß der Genauigkeit der Winkelmessung ist der mittlere Fehler m_r der einmal in beiden Fernrohrlagen gemessenen Richtung, der sich aus dem mittleren Zielfehler m_z und dem mittleren Ablesefehler m_a ergibt nach der Beziehung

$$m_r^2 = \frac{m_z^2}{2} + \frac{m_a^2}{4}.$$

3. Die Theodolite, die Gegenstand dieser Untersuchung sind, haben durchweg Fernrohre mit Okularauszug, ein zweiteiliges Objektivsystem und ein Ramsden- oder orthoskopisches Okular. Ihre optischen Abmessungen gehen aus der Tafel 1 hervor. Fernrohr Nr. 5b wird nur selten, und zwar als Ersatz für Nr. 5a verwendet.

Tafel 1.

Fernrohre.

Lfd. Nr.	Des Objektives Öffnung mm	Des Objektives Brennweite mm	Des Okulars Brennweite mm	Vergrößerung	Austrittspupille mm	Relative Helligkeit	Gesichtsfeld °	m_{z_1} "	m_{z_2} "
1	30	320	11,3	28,3	1,06	1,12	1,3	± 1,13	± 1,50
2	27	270	11,3	23,9	1,13	1,28	1,6	1,23	1,64
3	27	250	11,3	22,1	1,22	1,49	1,7	1,28	1,70
4	25	210	11,3	18,6	1,34	1,80	1,8	1,39	1,86
5a	20	120	11,3	10,6	1,89	3,57	2,6	1,84	2,45
5b	20	120	8,0	15,0	1,33	1,78	2,5	1,55	2,07
5c	20	120	6,7	17,9	1,12	1,25	2,5	1,42	1,89
6	30	150	7,5	20,0	1,50	2,25	2,3	1,34	1,79

Für den mittleren Ziel- oder Einstellfehler m_z einer Anzahl nach Art und Herstellung verschiedener Theodolite ist im Schrifttum eine große Reihe von Werten angegeben, die jedoch nicht immer auf völlig einwandfreiem Wege gefunden, mindestens zu einem Teile also nicht ganz zuverlässig sind. Es kann und darf sich hierbei natürlich stets nur um Mittelwerte handeln, da ja der Zustand des Luftkörpers zwischen Instrument und Ziel, der die Sichtigkeit und damit die Genauigkeit der Einstellung

Digitized by Google

des Zielzeichens maßgebend beeinflußt, die Gestalt und Erscheinung des Zieles und die sonstigen äußeren Verhältnisse in sehr weiten Grenzen schwanken können.

Für die Leistung eines Fernrohres kommt neben der Vergrößerung v vor allem und geradezu hauptsächlich das Auflösungsvermögen des Objektivs und die Helligkeit der Bilder in Frage. Man pflegt aber — bei optisch richtig gehaltenen Fernrohren mit Recht — vor allem v in Beziehung zu m_z zu bringen.

Bekannt sind die allgemeinen Angaben für m_z in Bogensekunden (s. weiter unten)

durch S. Stampfer zu $\frac{15}{v}$ (1. *S. 21—22*),

durch C. M. v. Bauernfeind zu $\frac{15}{v}$ (2. *S. 121—122*),

durch Ch. A. Vogler zu $\frac{50}{v}$ (3. *S. 81*),

durch E. Hammer zu $\frac{60}{v}$ bis $\frac{40}{v}$, im Mittel $\frac{50}{v}$ (4. *S. 270*),

durch Fr. Hartner zu $\frac{30}{v}$ (5. *S. 275*),

durch H. Hohenner zu $\frac{22}{v}$ bis $\frac{44}{v}$, im Mittel $\frac{33}{v}$ (6. *S. 27*),

durch M. Näbauer zu $\frac{8}{v}$ bei günstigen Verhältnissen (7. *S. 90*).

Einwandfreie Untersuchungen liegen vor von A. Noetzli (8.), Fr. Klempau (9.) und mir.

A. Noetzli (8. *S. 114*) fand für v zwischen 12 und 37 bei „Zielungen auf trigonometrische Signale" und mit Zielweiten bis 17,8 km bei Benutzung

von einem Vertikalfaden $m_z = \frac{4}{\sqrt{v}}$ bis $\frac{3}{\sqrt{v}}$, im Mittel $\frac{3{,}5}{\sqrt{v}}$,

von zwei Vertikalfäden (8. *S. 116*) $m_z = \frac{7}{\sqrt{v}}$ bis $\frac{5}{\sqrt{v}}$, im Mittel $\frac{6}{\sqrt{v}}$.

Fr. Klempau (9. *S. 312—319*) untersuchte ein Fernrohr Nr. 4 mit $v = 19$ und 23, im Mittel $v = 21$, und ein zweites mit $v = 30$ bei Zielweiten bis 8 km; er fand bei Benutzung von Doppelfäden

$$\left.\begin{array}{ll} \text{bei } v = 19 & m_z = \frac{6{,}4}{\sqrt{v}} \\ \text{bei } v = 23 & m_z = \frac{7{,}2}{\sqrt{v}} \\ \text{bei } v = 30 & m_z = \frac{4{,}4}{\sqrt{v}} \end{array}\right\} \text{ im Mittel } m_z = \frac{6}{\sqrt{v}} \text{ oder } \frac{29}{v}.$$

Ich selbst erhielt mit einem Fernrohr Nr. 5a und 5c mit Doppelfäden und $v = 18$ bei trigonometrischen Zielen und Zielweiten bis 5,4 km, im Mittel 2 km, im Durchschnitt

$$m_z = \frac{8}{\sqrt{v}}.$$

Es fand sich bei meinen Untersuchungen ferner, daß bei den verhältnismäßig kurzen Zielweiten, die bei der Stadtvermessung üblich sind und die ich daher benutzte, für das Verhältnis der Vergrößerungen 18 : 11 die Zahl 0,9 gilt, also nahezu völlige



Gleichheit besteht. Die Steigerung der Vergrößerung von 11 auf 18 vermindert m_z in diesem Fall nur um ein Zehntel seines Betrages.

Berücksichtigt man den Umfang der Untersuchungen von A. Noetzli, so wird man sich an die von ihm angegebene Form

$$m_z = \frac{c}{\sqrt{v}},$$

worin c eine Konstante bezeichnet, halten können. Mit großer Sicherheit wird man um allen, auch weniger günstigen äußeren Verhältnissen gerecht zu werden, $c = 8$ setzen dürfen, während für günstige Verhältnisse $c = 6$ anzunehmen ist. Damit sind in der Tafel 1 die Werte

$$m_{z_1} = \frac{6}{\sqrt{v}}, \qquad m_{z_2} = \frac{8}{\sqrt{v}}$$

errechnet, die für Dreiecksmessungen gelten.

Bei feinen Zugmessungen kann man bei der Anwendung geeigneter Zielvorrichtungen, falls es nötig ist, m_z durchaus in der Größe von $\frac{8}{\sqrt{v}}$ bis $\frac{10}{\sqrt{v}}$ halten, wie ich durch eigene Untersuchungen festgestellt habe.

Nicht erfassen lassen sich neben den äußeren Einflüssen die aus der Zielgestalt, ihrer Beleuchtung und Erscheinung fließenden Fehler; sie sind bei einem Voranschlag durch Zuschläge oder Minderungsfaktoren erfahrungsgemäß zu berücksichtigen.

4. Im Anschluß an den Zielfehler sei noch kurz auf die Genauigkeit der Zentrierung von Instrument und Ziel hingewiesen, die ja gerade bei der Kleindreiecksmessung und der feinen Zugmessung den mittleren gesamten Winkelfehler so nachhaltig beeinflußt. Dieser Fehler kann aber stets genügend klein gehalten werden: bei der Dreiecksmessung durch Anwendung der genügenden Sorgfalt bei der Zentrierung oder der Bestimmung der Zentrierungselemente, bei der feinen Zugmessung durch Benutzung eines optischen Abloters, wie er z. B. von † M. Hildebrand (10.) konstruiert ist, und einer Zwangszentrierung des Theodolits und des sachgemäß aufgebauten Zielzeichens, wie sie etwa in der ebenfalls von † M. Hildebrand geschaffenen Freiberger Aufstellung vorliegt. Das übertägige Vermessungswesen kann gerade bei der feinen Zugmessung sehr viel Wertvolles und in Jahrzehnten Erprobtes von dem untertägigen, dem Markscheidewesen, übernehmen.

Für einen Voranschlag entziehen sich auch die Zentrierungsfehler der scharfen zahlenmäßigen, nicht aber der überschlägigen Erfassung.

5. Der mittlere Ablesefehler m_{a_1}, das Maß der Genauigkeit der Ablesung des Grund- oder Lagekreises eines Theodolits, ist bei allen im Nachstehenden genannten Theodolitformen von mir auf dem Prüfstand und zwar stets aus einer ausreichend großen Zahl von Beobachtungen abgeleitet worden. Bei der praktischen Winkelmessung im Felde erfährt m_{a_1} eine Vergrößerung, die durch die äußeren Verhältnisse, insbesondere die Einflüsse unbequemer Körperhaltung, schlechter Beleuchtung, des Windes oder Wetterzuges, hoher oder niedriger Temperaturen und ähnlicher Erschwerungen bedingt ist. Man wird den Faktor hierfür bei Ablesung durch Nonien, Strich- oder Skalenmikroskope auf etwa 1,5, bei Ablesung durch Schraubenmikroskope auf etwa 1,25 ansetzen können, wenn man mittlere äußere Verhältnisse berücksichtigen will. Der so gewonnene Wert m_{a_2} ist ebenfalls in die nachstehenden Tafeln 2 bis 5 eingetragen.

Die Tafel 2 gibt die m_{a_1} und die m_{a_2} an für eine Reihe von Nonien-Theodoliten mit „alter" (360°, sexagesimal), „neuer" (400^g) und „Misch-Teilung" (360°, dezimal).

Digitized by Google

Diese Teilungen sind auch sonst berücksichtigt, soweit es erforderlich war. Die Angabe der Nummer des mit dem Theodolit verbundenen Fernrohres bezieht sich auf Tafel 1.

Tafel 2.

Nonien-Theodolite.

Lfd. Nr.	Fernrohr-Nr.	Der Teilung Durchmesser mm	Der Teilung Einheit ⁰ oder ᵍ	Noniusangabe ″ oder ˵	m_{a_1} ″ oder ˵	m_{a_2} ″ oder ˵	m_r ″ oder ˵	$m_{r_{min}}$ ″ oder ˵
				360⁰. Sexagesimale Unterteilung.				
1	1	180	$^1/_6$	10	± 2,6	± 3,9	± 2,2	± 1,5
2	2	160	$^1/_6$	10	2,9	4,4	2,5	1,7
3	3	145	$^1/_4$	20	3,0	4,5	2,6	1,8
4	3	145	$^1/_3$	30	3,8	5,7	3,1	2,1
5	4	120	$^1/_3$	30	3,9	5,8	3,2	2,2
6	5a	80	$^1/_3$	30	5,4	8,1	4,4	3,0
7	5a	80	$^1/_3$	60	11,1	16,6	8,5	5,7
				360⁰. Dezimale Unterteilung.				
8	4	120	0,25	0,01⁰	± 4,8″	± 7,2″	± 3,8″	± 2,6″
9	4	120	0,25	0,005⁰	4,5	6,8	3,6	2,5
				400ᵍ. Zentesimale Unterteilung.				
10	1	180	$^1/_5$	20	± 6,4	± 9,6	± 5,8	± 4,0
11	2	160	$^1/_5$	50	10,8	16,2	8,9	6,0
12	3	145	$^1/_2$	100	11,9	17,8	9,6	6,6
13	4	120	$^1/_2$	100	12,2	18,3	10,0	6,8
14	5a	80	$^1/_2$	100	24,7	37,0	19,3	13,0

Die Tafel 3 enthält die Theodolite mit Strichmikroskopen, Tafel 4 diejenigen mit Skalenmikroskopen.

Tafel 3.

Theodolite mit Strichmikroskopen.

Lfd. Nr.	Fernrohr-Nr.	Der Teilung Durchmesser mm	Der Teilung Einheit ⁰ oder ᵍ	m_{a_1} $p/100$	m_{a_1} ″ oder ˵	m_{a_2} ″ oder ˵	m_r ″ oder ˵	$m_{r_{min}}$ ″ oder ˵
				360⁰. Sexagesimale oder dezimale Unterteilung.				
1	5a	80	$^1/_6$	± 2,14	± 12,8	± 19,2	± 9,8	± 6,5
2	5a	80	$^1/_{10}$	1,76	6,3	9,4	5,0	3,4
				400ᵍ. Zentesimale Unterteilung.				
3	4	120	$^1/_{10}$	± 2,01	± 20,1	± 30,2	± 15,6	± 10,5
4	5a	80	$^1/_{10}$	1,91	19,1	28,6	15,3	10,4

Auf dem hier in Rede stehenden Gebiet werden Theodolite mit Schraubenmikroskopen nur selten und zwar nur mit Lagekreisen von 12 cm und 8 cm Teilungsdurchmesser verwendet. Über diese Instrumente gibt Tafel 5 Auskunft. Die Theodolite mit Schraubenmikroskopen und einem Teilkreis $>$ 12 cm gehören einer anderen Gruppe von Theodoliten an.

Digitized by Google

Tafel 4.

Theodolite mit Skalenmikroskopen.

Lfd. Nr.	Fernrohr-Nr.	Der Teilung Durchmesser mm	Der Teilung Einheit ° od. ᵍ	Einheit p der Glasteilung ′ od. `	Geschätzt auf p/10 ″ od. ``	Geschätzt auf p/20 ″ od. ``	m_{a_1} p/100	m_{a_1} ″ oder ``	m_{a_2} ″ oder ``	m_r ″ oder ``	$m_{r_{min}}$ ″ oder ``
					360°. Sexagesimale Unterteilung.						
1	1	180	1/6	1	6	3	± 2,82	± 1,7	± 2,6	± 1,7	± 1,2
2	2	160	1/6	1	6	3	2,94	1,8	2,7	1,8	1,3
3	3	145	1/6	1	6	3	3,26	2,0	3,0	1,9	1,4
4	3	145	1/3	2	12	6	2,68	3,2	4,8	2,7	1,8
5	4	120	1/3	2	12	6	2,34	2,8	4,2	2,5	1,7
6	5a	80	1/3	2	12	6	3,42	4,1	6,2	3,6	2,4
					400ᵍ. Zentesimale Unterteilung.						
7	2	160	1/5	2	20	10	± 3,36	± 6,7	± 10,0	± 6,2	± 4,3
8	3	145	1/5	2	20	10	3,52	7,0	10,5	6,4	4,5

In der Tafel 5 sind als $m_{a_{min}}$ noch diejenigen Werte angegeben, die auf dem Prüfstand bei fester elektrischer Beleuchtung erreicht worden sind.

Tafel 5.

Theodolite mit Schraubenmikroskopen.

Lfd. Nr.	Fernrohr-Nr.	Der Teilung Durchmesser mm	Der Teilung Einheit °	Mikroskop Vergrößerung	Trommelteile Anzahl	Trommelteile Wert p ″	$m_{a_{min}}$ p/100	$m_{a_{min}}$ ″	m_{a_1} ″	m_{a_2} ″	m_r ″	$m_{r_{min}}$ ″
1	4	120	1/6	20	150	4	± 10,8	± 0,43	± 0,7	± 0,9	± 1,39	± 1,04
2	4	120	1/6	29	60	10	6,1	0,61	0,9	1,1	1,42	1,08
3	5c	80	1/6	40	60	10	6,8	0,68	1,0	1,2	1,46	1,12

6. Die Tafeln 1 bis 5 geben die Möglichkeit, für jeden erwähnten Theodolit als Maßstab der Leistung bei der Winkelmessung

$$m_r^2 = \frac{m_z^2}{2} + \frac{m_a^2}{4}$$

zu errechnen. Einen Überblick über das Zusammenwirken von m_z und m_a gibt für die Teilung 360° die Tafel 6.

Tafel 6.

m_a \ m_z	1,0″	1,5″	2,0″	2,5″	3,0″
1,0″	± 0,9	± 1,2	± 1,5	± 1,8	± 2,2
1,5″	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2
2,0″	1,2	1,5	1,7	2,0	2,3
2,5″	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5
3,0″	1,7	1,8	2,1	2,3	2,6
3,5″	1,9	2,0	2,2	2,5	2,8
4,0″	2,1	2,3	2,4	2,7	2,9
5,0″	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3
6,0″	3,1	3,2	3,3	3,5	3,7
8,0″	4,1	4,1	4,2	4,4	4,5
10,0″	[illegible],0	5,1	5,2	5,3	5,4

In den Tafeln 2 bis 5 sind die für den praktischen Gebrauch eines Theodolits wichtigen, aus m_{a_2} und m_{z_2} errechneten m_r angegeben. Außerdem sind noch die aus

Digitized by Google

den m_{a_1} und m_{z_1} berechneten $m_{r_{min}}$ hingeschrieben, die als Anhalt dafür gelten können, was unter sehr günstigen äußeren Verhältnissen etwa mit dem Instrument erreicht werden könnte.

Die Reihen der m_z, m_a und m_r lassen für den Vermessungsingenieur viele und wichtige Schlüsse zu, auf die jedoch hier, da sie auf rein vermessungstechnischem Gebiet liegen, ebensowenig eingegangen werden soll, wie auf das Verhältnis zwischen m_a und m_z bei den einzelnen Theodoliten. Sie zeigen aber auch, daß die Bedürfnisse des praktischen Vermessungswesens bei weitem nicht die jetzt vorhandene große Anzahl von verschiedenen Formen und Größen von Theodoliten erfordern, die die geodätische Feintechnik unter dem Druck des gegenseitigen Wettbewerbes heute herstellt. Würde von jedem Vermessungsingenieur der Gesichtspunkt der wahren Wertigkeit eines Winkelmeßinstrumentes scharf erkannt, so wäre es möglich, billige Theodolite zu fertigen, die ein Ausdruck der höchsten feinmechanischen Leistung, Wirtschaftlichkeit, Betriebszuverlässigkeit und praktischer Eignung sind.

7. Es ist nicht ohne Interesse, die Reihe der Nonien-Theodolite mit derjenigen der Theodolite mit Skalenmikroskopen zu vergleichen. In der Tafel 7 gibt die Spalte r_a das Verhältnis der Ablesefehler m_{a_1}, r_r dasjenige der Richtungsfehler $m_{r_{min}}$ für Nonius: Skalenmikroskop an.

Tafel 7.

Fernrohr-Nr.	Teilungsdurchmesser	Ablesung durch Nonius				Ablesung durch Skalenmikroskop				r_a	r_r
		Teilungseinheit	Noniusangabe	m_{a_1}	$m_{r_{min}}$	Teilungseinheit	Einheit p der Glasteilung	m_{a_1}	$m_{r_{min}}$		
	mm	°	″	″	″	°	′	″	″		
1	180	1/6	10	± 2,6	± 1,5	1/6	1	± 1,7	± 1,2	1,53	1,25
2	160	1/6	10	2,9	1,7	1/6	1	1,8	1,3	1,61	1,31
3	145	1/4	20	3,0	1,8	1/6	1	2,0	1,4	1,50	1,29
3	145	1/3	30	3,8	2,1	1/3	2	3,2	1,8	1,19	1,17
4	120	1/3	30	3,9	2,2	1/3	2	2,8	1,7	1,39	1,29
5a	80	1/3	30	5,4	3,0	1/3	2	4,1	2,4	1,32	1,25
									Mittel	1,42	1,26

8. Die Tafel 8 gibt einen Überblick, wiederum in den m_{a_1} und $m_{r_{min}}$, für die Reihe der 12 cm-Theodolite, Tafel 9 einen solchen für diejenige der 8 cm-Theodolite. In den Spalten s_a und s_r ist die Leistung der mit Schraubenmikroskopen ausgestatteten Theodolite = 1 gesetzt.

Tafel 8.

Lfd. Nr.	Ablesung durch	Teilungseinheit °	m_{a_1} ″	s_a	$m_{r_{min}}$ ″	s_r
1	Schraubenmikroskope	1/6	± 0,8	1,0	± 1,1	1,0
2	Skalenmikroskope	1/3	2,8	3,5	1,7	1,5
3	Nonien	1/3	3,9	4,9	2,2	2,0

Auch aus diesen Tafeln wird der Vermessungsingenieur Schlüsse ziehen können, die für seine Entscheidung über die Wahl eines Theodolits von maßgebender Bedeutung sind.

Digitized by Google

Tafel 9.

Lfd. Nr.	Fernrohr-Nr.	Ablesung durch	Teilungseinheit °	m_{a_1} "	s_a	$m_{r_{min}}$ "	s_r
1	5c	Schraubenmikroskope	$^1/_6$	1,0	1,0	1,1	1,0
2	5a	Skalenmikroskope	$^1/_3$	4,1	4,1	2,4	2,2
3	5a	Nonien 30″	$^1/_3$	5,4	5,4	3,0	2,7
4	5a	Nonien 60″	$^1/_3$	11,1	11,1	5,7	5,2
5	5a	Strichmikroskope	$^1/_6$	12,8	12,8	6,5	5,9

9. Der im allgemeinen Berufsleben tätige Vermessungsingenieur wird die Bedeutung eines Theodolits und seine Leistung dann nicht nur von der Genauigkeit der Winkelmessung bei Kleindreiecksmessungen und feinen Zugmessungen abhängig machen, wenn er das Instrument auch bei der Vorbereitung (Tachymetrie II) und Durchführung (Absteckung) von Ingenieurbauten, bei der Zugmessung in geringerwertigem Gelände, bei der Stückvermessung und bei ähnlichen Arbeiten verwenden will. Eine Beurteilung der Leistung des Theodolits auf diesen Gebieten ist nicht schwer, wenn nur die grundsätzliche Bedingung der Wirtschaftlichkeit — z. B. keine unnötige Schärfe der Ablesevorrichtung, die für Messung und Rechnung nur eine zeitraubende unnötige Belastung bildet — erfüllt ist. Es soll darauf an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

10. Die im Vorstehenden angegebenen Werte für die Leistung der Fernrohre und der Ablesevorrichtungen gelten nur unter den ausdrücklich genannten Voraussetzungen und Annahmen. Mit dieser Einschränkung haben sie aber nicht nur relative, sondern auch absolute Bedeutung. Die fortschreitende Forschung und die Erfahrung der Praxis werden sie naturgemäß in gewissen Grenzen ändern können.

Freiberg i. Sa. im Oktober 1924.

Schrifttum.

I. Angezogene Schriften.

1. S. Stampfer, Theoretische und praktische Anleitung zum Nivelliren. 6. Aufl. von J. Ph. Herr. (Wien 1869.)

2. C. M. v. Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde. Bd. I. 7. Aufl. (Stuttgart 1890.)

3. Ch. A. Vogler, Lehrbuch der praktischen Geometrie. Teil I. (Braunschweig 1885.)

4. E. Hammer, Lehrbuch der elementaren praktischen Geometrie. Bd. I. (Leipzig 1911.)

5. Fr. Hartner — J. Wastler — E. Doležal, Hand- und Lehrbuch der niederen Geodäsie. 1. Bd. 10. Aufl. (Wien 1910.)

6. H. Hohenner, Geodäsie. (Leipzig 1910.)

7. M. Näbauer, Grundzüge der Geodäsie. (Leipzig 1915.)

8. A. Noetzli, Untersuchungen über die Genauigkeit des Zielens. (Zürich 1915.)

9. Fr. Klempau, Über die Beziehungen zwischen Winkel-, Nonien- und Zielgenauigkeit. *Allgem. Verm. Nachr.* **35.** *S. 306—319. 1923.*

10. K. Lüdemann, Eine vergleichend-wirtschaftliche Betrachtung der optischen Ablotung bei der Zugmessung über und unter Tage. *Allgem. Verm. Nachr.* **35.** *S. 257—265. 1923.*

II. Benutzte eigene Untersuchungen.

a) Untersuchung eines Repetitionstheodoliten. *Zeitschr. f. Vermw.* **36.** *S. 345—359. 1907.*

b) Über den Ablesefehler bei Nonientheodoliten. *Zeitschr. f. Vermw.* **37.** *S. 817—826. 1908.* Berichtigung dazu *Zeitschr. f. Vermw.* **39.** *S. 963—964. 1910.*

c) Über die Genauigkeit neuzeitlicher Nonientheodolite. *Der Landmesser.* **1.** *S. 97—100, 109—112, 121—125, 136—140. 1913.*

d) Der 8 cm-Nonientheodolit von M. Hildebrand. *Mitt. a. d. Markscheidew. S. 3—13, 62 bis 69. 1914.*


Digitized by Google

e) Über die Genauigkeit von Nonientheodoliten mit 12 cm Durchmesser des Grundkreises aus Reihenerzeugung. *Diese Zeitschr.* ***40.*** *S. 49—56. 1910.*

f) Über den Gebrauchswert eines 16 cm-Nonientheodolits. *Allgem. Verm. Nachr.* ***33.*** *S. 45 bis 49, 61—67. 1921.*

g) Die kleinsten Hildebrand-Nonientheodolite. *Allgem. Verm. Nachr.* ***35.*** *S. 78—83. 1923.*

h) Der Nutzwert kleiner Theodolite für die Winkelmessung. *Allgem. Verm. Nachr.* ***34.*** *S. 885 bis 888. 1922.*

i) Nonientheodolite mit dezimaler Unterteilung des Grades. *Allgem. Verm. Nachr.* ***35.*** *S. 17 bis 21. 1923.*

k) Ergebnisse der Prüfung einiger Nonientheodolite mit zentesimaler Teilung. *Zeitschr. f. Feinmechanik* ***31.*** *S. 25—27, 37—40. 1923.*

l) Der Ablesefehler bei Nonientheodoliten mit zentesimaler Teilung. *Schweiz. Zeitschr. f. Vermw.* ***20.*** *S. 273—276. 1922.*

m) Die kleinsten, mit Strichmikroskopen ausgestatteten Hildebrand-Theodolite. *Mitt. a. d. Markscheidew. S. 19—33. 1921.*

n) Versuche zur Feststellung der Größe und des Verlaufes des regelmäßigen Teiles des Schätzungsfehlers bei Strichmikroskopen. *Allgem. Verm. Nachr.* ***34.*** *S. 551—560. 1922.*

o) Der unregelmäßige Schätzungsfehler bei Strichmikroskopen. *Diese Zeitschr.* ***43.*** *S. 25. 1923.*

p) Der Ablesefehler bei Theodoliten mit Skalenmikroskopen. *Diese Zeitschr.* ***42.*** *S. 285 bis 300. 1922.*

q) Der Hildebrand-8 cm-Theodolit mit Schraubenmikroskopen und seine Verwendung bei Stadtvermessungen. *Diese Zeitschr.* ***43.*** *S. 145—161. 1923.*

r) Grundlagen für einen Voranschlag der inneren Genauigkeit der Winkelmessung bei Theodoliten mit Ablesung durch Nonien, Strich- und Skalenmikroskope. *Österreich. Zeitschr. f. Vermw.* ***21.*** *S. 26—30. 1923.*

s) Der mittlere unregelmäßige Fehler der Fädeneinstellung und Trommelablesung bei Schraubenmikroskopen. Erscheint später in der *Zeitschr. f. Vermw.*

Referate.

Electrical registration of height of water at any time in tidal prediction.

Von J. de Graaff Hunter. *Journ. of scientif. instr.* ***1.*** *S. 246. 1924.*

Die Anordnung verfolgt den Zweck, zu registrieren, wann bestimmte Wasserstandshöhen erreicht sind. Auf einem Registrierblatt werden zu diesem Zweck horizontale Linien von der Schreibfeder gezeichnet, die jedesmal, wenn der Wasserstand eine bestimmte Höhe beim Steigen oder Fallen erreicht, eine _┌┐_ bzw. ‾└┘‾ förmige Ausbiegung erhalten. Eine Unterbrechung der fortlaufenden Linie gibt die Ausgangsstellung an. Mit der Schreibfeder, welche die Kurve des Wasserstandes schreibt, wird vertikal eine kleine Metallplatte mitbewegt, die Führung durch einen Draht und einen Messingstreifen erhält. Auf diesem sind kleine Vorsprünge festgelegt, die bestimmte Wasserstände bedeuten. Beim Herübergleiten über einen solchen Vorsprung wird ein kleiner Winkelhebel bewegt, je nach der Bewegungsrichtung nach oben oder unten, der elektrischen Kontakt gibt, der auf die Bewegung jener zweiten Schreibfeder übertragen wird.

Block.

Note on tuning forks.

Von C. C. Mason.

Note on electrically maintained tuning forks.

Von D. W. Dye.

Electrically maintained tuning forks, some factors affecting frequency.

Von A. B. Wood. *Journ. of scientif. instrum.* ***1.*** *S. 250, 330 und 340. 1924.*

Die Arbeiten beschäftigen sich im wesentlichen mit den Vorgängen beim Schwingen von Stimmgabeln, bei denen die beiden Zinken nicht genau gleich sind, daneben auch noch mit dem Sonderfall von Gabeln mit veränderlicher Schwingungszahl durch verschiebbare Reguliergewichte. Das Ergebnis der Arbeiten kann in Kürze etwa so zusammengefaßt werden: Für Stimmgabeln


Digitized by Google

von etwa 25 Schwingungen in der Sekunde ist der direkte Einfluß der Dämpfung auf die Frequenz zu vernachlässigen. Indessen ist die Dämpfung geeignet, andere äußere Einflüsse, die eine Veränderung der Frequenz zur Folge haben können, nachzuweisen. So wird z. B. die Dämpfung sehr stark durch das Gewicht des Stativs der Gabel beeinflußt. Dieses Gewicht hat auch einen merklichen Einfluß auf die Frequenz. Seine Vergrößerung hat zunächst einen Abfall der Frequenz um rund 0,1 Schwingungen in der Sekunde zur Folge und dann einen langsamen Anstieg um rund 0,05 Schwingungen, sowohl bei einer gut ausbalanzierten Gabel wie bei einer künstlich durch Verschieben des einen Reguliergewichtes nicht ausbalanzierten.

Für eine Stimmgabel aus Elinvar ergab sich ein Temperaturkoeffizient der Frequenz von + 0,0000047 für einen Celsiusgrad. *Block.*

Automatic Signal Lamp, devised for Triangulation Surveys.

Von D. L. Parkhurst. *Engineering News-Record, New York, Bd.* **93.** *No. 3. 17. Juli. 1924.*

Der Vorstand der Instrumenten-Abteilung des *Coast and Geodotic Survey,* Washington, gibt hier eine kurze Beschreibung nebst einigen Abbildungen eines elektrischen Lichtsignals für die Winkelmessung in Feintriangulationen bei Nacht. Das Instrument verdient auch bei uns Beachtung.

Das Signal besteht aus einer gewöhnlichen Automobil-Lampe, deren Brenndauer ohne weitere Beaufsichtigung 8 Tage lang, täglich von einem gewünschten Zeitpunkt an und für eine bestimmte, zu wählende Zahl von Stunden (z. B. 3 [min.] bis 6 [max.] Stunden) sich, nach einer einmaligen Einschaltung am Beginn der 8 tägigen Periode, selbsttätig regelt. Der Strom wird von einer Batterie von Trockenelementen geliefert. Das Signal ist ferner so eingerichtet, daß auf der Station, die nach dem Standpunkt des Theodolits hin Licht geben soll, mehrere Signale ohne weiteres genau zentrisch übereinander aufgestellt werden können, so daß der Punkt gleichzeitig von mehreren Theodolit-Standpunkten aus angezielt werden kann. Praktisch wichtig ist endlich das geringe Gewicht des Signals, das (ohne die Trockenelemente) nur 7 bis 8 kg beträgt.

Hammer.

Avant-Projets de Véhicules de Lunette à Grossissement variable.

Von M. L. Dunoyer. *Revue d'Optique* **3.** *S. 353. 1924.*

Verf. beschreibt die Wirkungsweise der verschiebbaren Umkehrlinsen in Erdfernrohren mit stetig veränderlicher Vergrößerung. Die Umkehrlinse besteht aus zwei gegeneinander in bestimmter Weise verschiebbaren Einzellinsen, und Verf. legt dar, welches die günstigsten Kombinationen derselben sind. Es ergibt sich, daß die Maximal- bzw. Minimalvergrößerung dann erreicht wird, wenn die Linsen sich berühren, und zwar in größter Entfernung der Objektebene bzw. größter Nähe der Bildebene. Das Verhältnis von Maximalvergrößerung zu Minimalvergrößerung darf höchstens 9 betragen. Dieser Wert wird aber im allgemeinen noch gar nicht erreicht. *Flügge.*

Die Bestimmung von Aberrationen gemäß geometrisch-optischer Ausdrucksweise aus den Angaben des Hilgerschen Interferometers.

Von J. W. Perry. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 97. 1923-24.*

Das Hilgersche Interferometer, eine Abänderung des Michelsonschen Interferometers, wird dazu benutzt, die Fehler von photographischen Objektiven experimentell festzustellen. Das durch die zu untersuchende Linse gegangene Strahlenbündel wird mit einem Normal-Bündel zur Interferenz gebracht. Auf diese Weise können sphärische Aberration, Koma, chromatische Aberration, Bildkrümmung, Astigmatismus, Sinusbedingung und Verzeichnung untersucht werden. Die Fehler werden in geometrisch-optischem Maße, wie üblich, dargestellt. Die aus den Messungen erhaltenen Resultate werden sodann mit denen der trigonometrischen Durchrechnung verglichen, wobei sich gute Übereinstimmung zeigt. *Flügge.*

Neue Form eines Hornhaut-Miskroskops in Verbindung mit einer Spaltlampe.

Von E. F. Fincham. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 113. 1923-24.*

Verf. beschreibt eine Vorrichtung, die es gestattet, die Hornhaut sowie die vorderen Teile des Augeninnern am lebenden Objekt zu betrachten. Die Beleuchtung des zu untersuchenden


Digitized by Google

Augenteils geschieht durch eine Spaltlampe, die Beobachtung mit einem Mikroskop. Lampe und Mikroskop sind auf einem Kreisbogen angeordnet. Das Objekt kann genau in den Fokus gebracht werden. Mit dieser Vorrichtung können Teile der Hornhaut, der Iris und der Kristallinse nicht nur visuell betrachtet, sondern auch photographiert werden. *Flügge.*

Die Beziehung zwischen Öffnung, axialer Dicke und Form für eine einfache Linse.

Von T. Smith. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 107. 1923-24.*

Die genaue Beziehung zwischen Öffnung und Dicke einer einfachen Linse gegebener Form besteht in dem Ausdruck

$$T = \frac{2b}{(1+bX)^{1/2}+1}; \qquad b = \frac{2A}{1-AX+\{(1-AX)^2-4A\}^{1/2}},$$

wo

$$T = {}^1/_2\, t\,(R_1 - R_2); \qquad X = \left(\frac{R_1+R_2}{R_1-R_2}\right)^2 - 1; \qquad A = {}^1/_4\, a\,(R_1-R_2)^2.$$

R_1 und R_2 sind die Krümmungen der Flächen, t die Dicke, a das Quadrat der halben Öffnung. Oft wird man aber mit einfacheren Näherungsformeln auskommen, von denen Verf., je nach den Bedingungen, verschiedene angibt. Die genaue Formel kommt nur dann in Betracht, wenn die Randdicke genau Null werden soll. *Flügge.*

Ein Bezugsystem für Primäraberrationen.

Von T. Smith. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 130. 1923-24.*

Die Primäraberrationen, d. h. Aberrationen in einer durch die Achse des Linsensystems gelegten Ebene, können als völlig bekannt angesehen werden, wenn der Korrektionszustand in allen Achsenpunkten gegeben ist. Verf. schlägt vor, allgemeine Untersuchungen auf den Fall zu beziehen, wo die ganze Achsenlänge frei von Aberrationen ist. Wenn man hiervon ausgeht, hat man es mit Funktionen zu tun, die lediglich von der Lage des Objekts, der Blende und der Brennweite abhängen. *Flügge.*

Über objektähnliche Abbildung der optischen Instrumente.

Von A. Köhler. *Centralztg. f. Opt.* u. *Mech.* **45.** *S. 137. 1924.*

Eine strenge objektähnliche Abbildung liegt einzig und allein dann vor, wenn der Gegenstand auf eine meistens ebene Fläche derart projiziert wird, daß das Bild Punkt für Punkt in Farbe und Helligkeit mit dem Objekt übereinstimmt. Nun sind die Bilder, welche von optischen Instrumenten entworfen werden, solche Projektionen in der „Einstellebene", deren Projektionszentren nach Abbe in der Mitte der Eintrittspupille des betreffenden Instruments liegen. Für die Entstehung des Bildes und damit für seine Naturtreue ist die Beleuchtung von großem Einfluß. Der Abbildungsvorgang kann durch geometrisch-optische Betrachtungen studiert werden. Den Tatsachen näher kommt man aber mit beugungstheoretischen Überlegungen; und auf diesen fußt auch die Abbesche Theorie des Abbildungsvorgangs. Das von einem Flächenelement der Lichtquelle ausgehende Licht wird durch die Objektstruktur gebeugt. Dadurch und durch die Interferenz der gebeugten Strahlen wird der Lichtpunkt in ein virtuelles Beugungsspektrum ansgebreitet. Um nun den Abbildungsvorgang zu erklären, muß man sich eine Lichtverteilung denken, die in bezug auf Intensität und Schwingungsphase Punkt für Punkt mit der Lichtverteilung übereinstimmt, wie sie im virtuellen Beugungsspektrum vorliegt. In dieser Lichtverteilung sind dann sowohl die Objektstruktur als auch die Lichtwirkung des leuchtenden Punktes als Faktoren enthalten. Die Lichtverteilung in der Einstellebene entsteht dadurch, daß in ihr Lichtwege von allen Punkten des als realisiert gedachten Beugungsspektrums zusammentreffen und zur Interferenz gelangen. Auf diese Weise stellt die Abbesche Theorie das Abbild des Objekts dar. Bei ausgedehnten Lichtquellen kommt das Abbild natürlich durch Übereinanderlagerung der elementaren Abbilder zustande.

Das „beugungstheoretische" Abbild stimmt mit dem „geometrich-optischen" dann überein, wenn in dem Winkelraum des durch die Objektstruktur abgebeugten Lichtes tatsächlich alles Licht


Digitized by Google

enthalten ist und wenn der Öffnungswinkel des Objektivs so bemessen ist, daß er das gesamte abgebeugte Licht einfaßt. Wenn aber eine stärkere Vergrößerung angewandt wird, treten Erscheinungen auf, die die geometrische Optik nicht zu erklären vermag, wie „Beugungslinien", die „Beckesche Linie", die Beugungsscheibchen ultramikroskopischer Teilchen, die Grenzlinien optisch verschiedener Stoffe bei Dunkelfeldbeleuchtung, usw. Dasselbe gilt, wenn nicht das ganze virtuelle Beugungsspektrum vom Objektiv mit zur Abbildung gelangt, sondern nur ein abgeblendeter Teil desselben. Die Ähnlichkeit des Abbilds mit dem Objekt, die ja geometrisch-optisch begründet ist, wird dann noch geringer als in dem vorhergehenden Fall. Bei Feinstrukturen des Objekts, gegen die die Lichtwellenlänge des benutzten Lichts nicht mehr klein zu nennen ist, wird das Beugungsspektrum innerhalb des Beobachtungsbereiches (bis 180°) überhaupt nicht mehr vollständig, und wird es erst wieder, wenn sehr kleine Wellenlängen zur Anwendung kommen. Ist das nicht möglich, so muß von vornherein auf die gewohnte Deutung der Bilder Verzicht geleistet werden. Allerhöchstens läßt sich noch die Anordnung der Strukturelemente angeben, aber nicht mehr Größe und Gestalt derselben. *Flügge.*

A convenient photoelectric photometer and densitometer.

Von E. A. Baker. *Journ. of scientif. instrum.* **1.** *S. 345. 1924.*

Die Arbeit bringt im wesentlichen die Beschreibung einer Fadenelektrometer-Konstruktion. Ein Platin-Wollastondraht von 4 cm Länge und 7 μ Dicke hängt vertikal zwischen zwei vertikalen Messingplatten. Diese beiden sind in horizontaler Richtung bei unverändertem Abstand voneinander durch eine feine Mikrometerschraube gegen den Faden verschiebbar. Auf dessen unteres Ende ist ein stark vergrößerndes Mikroskop mit Fadenkreuz gerichtet. Der Platinfaden wird auf eine Hilfsspannung von rund 100 Volt geladen, die eine Platte geerdet und die andere mit dem zu messenden Potential verbunden. Dann wird die Stellung der beiden Platten zu dem Faden derart durch Drehen der Mikrometerschraube verändert, bis der Faden wieder seine Ruhelage erreicht. Das Mikroskop dient also nur als Nullinstrument, und die eigentliche Messung wird in die Mikrometerschraube verlegt, wodurch man eine verfügbare Skalenlänge von rund 500 Teilstrichen erreicht. Meßbereich und Empfindlichkeit des Elektrometers wird dadurch veränderlich gemacht, daß beide Platten in ihrem Abstand gegeneinander verstellt werden. — Der Rest der Arbeit bringt nichts Neues. *Block.*

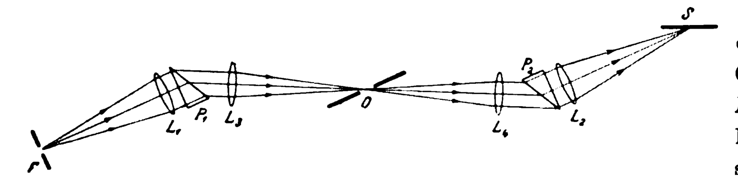
Neuer Doppel-Spektrograph für das äußerste ultraviolette Spektrum.

Von P. Lambert, G. Déjardin und D. Chalonge, *Revue d'Optique* **3.** *S. 277. 1924.*

Bei Aufnahme des Sonnenspektrums im Ultraviolett machen sich die sehr lichtstarken übrigen Teile des Spektrums besonders störend bemerkbar, indem das durch die optischen Teile des Spektrographen diffus zerstreute Licht sehr schnell die Platten verschleiert, so daß nur ganz kurze Expositionszeiten möglich sind. Will man die schädlichen Strahlen durch Filter beseitigen, so werden dadurch meistens auch die schwachen ultravioletten Strahlen geschwächt.

Fabry und Buisson haben deshalb für den vorliegenden Zweck einen doppelten Spektrographen benutzt, indem sie aus dem durch einen Quarzspektrographen erzeugten Spektrum den zu untersuchenden Teil ausblendeten und diesen Spektralstreifen als Eintrittsspalt eines zweiten Spektrographen benutzten. Der erste Spektrograph dient demgemäß als Monochromator.

Die Verf. schlagen einen anderen Weg zur Erreichung desselben Zieles ein, welcher durch die schematische Skizze in beistehender Figur erläutert werden mag.



Auf den Kollimator mit dem Eintrittsspalt F und dem Objektiv L_1 folgt die eine Hälfte P_1 des Cornuschen Prismas. Diese Hälfte ist gegenüber der sonst üblichen Stellung umgedreht, so daß die aus dem Kollimatorobjektiv kommenden Strahlen senkrecht darauf fallen, wodurch eine größere Öffnung des Objektivs, also eine größere Helligkeit zur Verwendung kommt.

Auf das halbe Cornu-Prisma folgt das teleskopische System, bestehend aus den beiden

Digitized by Google

gleichen Linsen L_3 und L_4, entfernt voneinander um die Summe ihrer Brennweiten. In ihrem gemeinsamen Brennpunkt O entsteht ein Spektrum, aus welchen die zu untersuchenden Teile ausgeblendet werden können.

Hinter der Linse L_4 findet sich nun die zweite Hälfte P_2 des Cornuschen Prismas und die Projektionslinse L_2, welche in S das Spektrum erzeugt. Die zweite Hälfte P_2 des Prismas ist gegenüber der ersten P_1 umgedreht, um die durch das System L_3 L_2 erfolgte Umkehrung des Spektrums wieder aufzuheben.

Die Verf. hatten die Blende in O so gewählt, daß sie den Spektralbezirk von 2150—1950 Å durchließ. Hier findet schon eine ziemlich beträchtliche Absorption in Quarz statt. Es wurden deshalb dünne Quarzlinsen von 155 mm Brennweite und ein nur kleines Cornusches Prisma benutzt, so daß die ganze Weglänge im Quarz nur 3 cm betrug. Das so erzeugte Spektrum war trotz einer Expositionszeit von 40 Minuten gänzlich schleierfrei. *H. Krüss.*

Eine neue Methode zur Bestimmung der Temperatur des Taupunktes.

Von Mark Holtzmann. *Physikal. Zeitschr.* **25.** *S. 443. 1924.*

Ein außen poliertes Kupferrohr von 22/20 mm Durchmesser und 150 mm Länge trägt nahe seinem oberen Ende eine kurze Heizspule, durch welche das Rohr in gewünschtem Maße erwärmt wird. Läßt man dann von unten nach oben Kühlflüssigkeit durch das Rohr laufen, so bildet sich ein Beschlag, der je nach dem Wärmegleichgewicht in nach oben abnehmender Stärke das Rohr überzieht. An der oberen Beschlagsgrenze hat die Rohroberfläche die Taupunktstemperatur. Auf dem Rohr ist als Marke für die Beschlagsgrenze ein Strich angebracht und daselbst dünne Drähte angelötet, die zusammen mit der Rohroberfläche je ein Thermoelement bilden und somit eine sichere Ermittlung der Oberflächentemperatur erlauben. Durch geeignete Regelung des Heiz- und Kühlstromes kann man die Beschlaggrenze an den Strich verlegen und darauf die Taupunktstemperatur am Galvanometer ablesen. Verf. gibt an, daß mehrfache Bestimmungen mit dem Apparat auf 0,02—0,03° übereinstimmen. Gleichzeitige Messungen der relativen Feuchtigkeit mit dem Aßmannschen Psychrometer gaben Abweichungen von 0,4—0,6 Proz. Ein zweites Instrument, als Sondenhygrometer bezeichnet, wird anstatt durch Flüssigkeit durch verdampfenden Äther gekühlt. *G.*

Ein Kathodenstrahlofen.

Von Hans Gerdien und Hans Riegger, *Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konzern III. S. 226. 1923.*

Der Ofen besteht aus einem kugelförmigen Glasgefäß, dessen Durchmesser bis zu 500 mm beträgt. Er trägt eine Außenbelegung aus Metall oder er befindet sich innerhalb eines Gefäßes mit angesäuertem Wasser. Die Belegung (bzw. das Wasser) bildet die eine Elektrode, von welcher ausgehend die Kathodenstrahlen radial nach dem Mittelpunkt zu verlaufen. Dort befindet sich die Innenelektrode, welche das zu schmelzende Präparat trägt. Der Druck in der Röhre beträgt für Luftfüllung im Optimum etwa 0,01 mm Hg. Der Ofen wird mit Hochfrequenz, ähnlich wie ein Löschfunkensender, betrieben, doch arbeitet der Stoßkreis nicht mit tönenden Funken, sondern mit Partialentladungen. Die mittlere Stromstärke in der Kugelröhre beträgt bis zu 20 A, die Leistung an der Röhre 0,3 bis 4 kW.

Bei genügender Energiezufuhr gelingt es mit diesem Ofen leicht, sofern das Präparat gasfrei ist, in wenigen Sekunden auf sehr hohe Temperaturen zu kommen. Ein Stift von 36 mm² Querschnitt aus gepreßtem Wolframpulver z. B. konnte binnen 5 Sekunden auf etwa 2 cm Länge geschmolzen werden. Für Präparate, bei denen Reaktionen mit dem Füllgas zu befürchten sind, wendet man ein Edelgas zur Füllung des Kolbens an. *Zickner.*


Digitized by Google

Bücherbesprechungen.

Siegfried Czapski† und **Otto Eppenstein,** Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. Bearbeitet von den wissenschaftlichen Mitarbeitern der Zeissischen Werkstätten: H. Boegehold, O. Eppenstein, H. Erfle†, A. König, M. v. Rohr. Herausgegeben von H. Erfle † und H. Boegehold. 3. Aufl. XX, 747 S. m. 316 Abbildungen. Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1924. Preis 30 bzw. 33 M.

Die Neuerscheinung dieses klassischen Werkes der praktischen Optik, welches, wie auch die früheren Auflagen durch die Bemühungen des hervorragenden wissenschaftlichen Stabes der Zeiss-Werke möglich geworden ist, wird mit Freude begrüßt werden. Der Umstand, daß seit der letzten Auflage 20 Jahre verflossen sind, hat naturgemäß wesentliche Ergänzungen und Änderungen nötig gemacht. Die Beugungserscheinungen sind ganz neu bearbeitet worden, wobei auch die Herren Kühl und Strehl mitgewirkt haben. Ferner sind die medizinischen Höhlen- und Röhrengucker neu aufgenommen worden. Das Kapitel über sphärische Abweichung wurde geteilt, wobei erheb liche Erweiterungen unter Berücksichtigung der Arbeiten von Hamilton, Schleiermacher, Conrady, Gullstrand, Lihotzky, Stäble u. a. vorgenommen wurden; auch die neuesten Ableitungen von Smith sind kurz erwähnt. Im ersten Kapitel wurde an die Stelle der Sturmschen Auffassung des Normalbündels diejenige von Gullstrand gesetzt. Im zweiten Kapitel ist auf Vorschlag von Böger ein Anhang über die synthetische Behandlungsweise hinzugefügt worden. Sehr zahlreich sind die Änderungen und Zusätze in den von Erfle bearbeiteten Abschnitten. Der Herausgeber bezeichnet das vorliegende Buch als das wissenschaftliche Hauptwerk von Erfle. Bezüglich der leichteren Übersicht ist besonders das umfangreiche Namenverzeichnis am Schluß hervorzuheben. Ferner muß begrüßt werden, daß ein großer Teil der Fremdwörter beseitigt und zum Teil durch glückliche deutsche Ausdrücke ersetzt wurde. Druck und Ausstattung des Werkes sind der Zeit entsprechend, aber gediegen. Als Mitarbeiter werden außer den genannten noch die Herren Herzberger, Köhler, Riedinger, Siedentopf, Richter und Moll genannt; es hat also die Firma Zeiss einen erheblichen Teil ihrer hervorragenden wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter zum Zustandekommen des Werkes hergegeben und so zu ihren sonstigen allbekanntenn Verdiensten um die Wissenschaft ein neues großes Verdienst hinzugefügt.

E. Gehrcke.

G. Keinath, Elektrische Temperaturmeßgeräte. VIII, 275 S. 219 Abb. München und Berlin, R. Oldenbourg 1923. Geb. 12 M.

Im vorliegenden Buche, das eine Erweiterung des Abschnittes „Temperaturmeßgeräte“ des 1921 erschienenen Buches „Technik der elektrischen Meßgeräte“ ist, hat der Verf. mit Unterstützung der bekanntesten deutschen und namhafter ausländischer Firmen ein umfangreiches Material zusammengetragen, das die gesamten elektrischen Temperaturmeßmethoden umfaßt In drei großen Kapiteln werden Thermoelemente, Widerstandsthermometer und Strahlungspyrometer ausführlich beschrieben. Wirkungsweise, Meßanordnungen, Fehlerquellen und erreichbare Meßgenauigkeit werden erschöpfend behandelt. In einem weiteren Kapitel sind die Hilfsapparate, wie Zeigerinstrumente und Registrierapparate aufgeführt. Im letzten Kapitel werden die Anwendungsgebiete der elektrischen Temperaturmessung bei der Dampferzeugung, in der Glas- und Keramikindustrie, in der Metallindustrie und in elektrischen Maschinen behandelt. Gerade dieser Abschnitt, der viele Beispiele aus der Praxis bringt, wird das Buch vielen erst recht wertvoll machen, da es genügend Hinweise auf die Wahl der Meßgeräte und der günstigsten Anordnung gibt. Das reiche vorzügliche Abbildungsmaterial, das neben Abbildungen der eigentlichen Meßgeräte viele Bilder aus der praktischen Anwendung bringt, erhöht den Wert des Buches.

Dieses Buch, das ein Mann der Praxis für die Praxis geschrieben hat, kann jedem, der sich mit Temperaturmessungen beschäftigen muß, nur warm empfohlen werden. *Otto.*

Nachdruck verboten.

Digitized by Google

Namen- und Sachregister.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google


Digitized by Google

Verzeichnis der Referenten des Jahrgangs 1924.

Name	Wohnort
Dr. Alberti	Charlottenburg
Prof. Dr. L. Ambronn	Göttingen
Dr. Behnken	Charlottenburg
Dr. R. Berger	Potsdam
Dr. Block	Charlottenburg
Dr. H. Boegehold	Jena
Dr. K. F. Bottlinger	Neubabelsberg
Prof. Dr. E. Brodhun (*E. Br.*)	Charlottenburg
Dr. Conrat (*Ct.*)	Charlottenburg
W. Dziobek	Charlottenburg
Dr. Engelhardt (*V. E.*)	Charlottenburg
cand. phys. Flügge (*Fl.*)	Berlin
Prof. Dr. J. Frank (*J. F.*)	Weihenstephan
Prof. Dr. E. Gehrcke	Charlottenburg
Prof. Dr. Giebe	Charlottenburg
Prof. Dr. Göpel (*G.*)	Charlottenburg
Prof. Dr. Dr.-Ing. e. h. E. Hammer	Stuttgart
Prof. Dr. Haußmann	Charlottenburg
Prof. Dr. Henning	Charlottenburg
Studienrat Dr. Hermann	Tübingen
Prof. Dr. M. Jacob (*Jb.*)	Charlottenburg
Prof. Dr. D. h. c. H. Krüss	Hamburg
Dr. J. Otto	Schlachtensee
Dr. Scheld	Charlottenburg
Prof. Dr. O. Schönrock (*Schck.*)	Charlottenburg
Dr.-Ing. Schröter (*Sr.*)	Godesberg
Dr.-Ing. R. Vieweg	Charlottenburg
Dipl.-Ing. V. Vieweg (*Vg.*)	Charlottenburg
Dr. Werner (*Wr.*)	Charlottenburg
Dr. Zickner	Charlottenburg
Dr. Zinner	München

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Digitized by Google

Digitized by Google

Juli 1924.

Soeben erschien

PHYSIKALISCHES HANDWÖRTERBUCH

UNTER MITWIRKUNG VON

O. BASCHIN-BERLIN · H. BOEGEHOLD-JENA · W. BORINSKI-BERLIN · K. F. BOTTLINGER-NEUBABELSBERG · H. CASSEL-BERLIN · C. CRANZ-BERLIN · R. DITTLER-LEIPZIG · O. v. EBERHARD-ESSEN A. R. · J. EGGERT-BERLIN · H. ERFLE †-JENA · H. ESAU-BERLIN · M. ETTISCH-BERLIN PH. FRANK-PRAG · E. FREUNDLICH-POTSDAM · A. GEHRTS-BERLIN · W. GERLACH-FRANKFURT A. M. · R. GRAMMEL-STUTTGART · L. GREBE-BONN · H. GRÖBER-MÜNCHEN · E. GUMLICH-BERLIN · P. GÜNTHER-BERLIN · H. HARTINGER-JENA · F. HENNING-BERLIN · V. F. HESS-WIEN F. HOFFMANN-BERLIN · L. HOPF-AACHEN · G. JÄGER-WIEN · R. JAEGER-BERLIN · W. JAEGER-BERLIN · H. KALLMANN-BERLIN · P. KLEIN-BERLIN · K. W. F. KOHLRAUSCH-WIEN · W. KRUSE-BERGEDORF · R. LADENBURG-BRESLAU · E. LIEBENTHAL-BERLIN · F. LÖWE-JENA · O. MARTIENSSEN-KIEL · G. MARX-MÜNCHEN · A. MEISSNER-BERLIN · W. MERTÉ-JENA · A. NIPPOLDT-POTSDAM · F. NOETHER-BERLIN · W. PAULI JR.-HAMBURG · A. PREY-PRAG · H. REICHENBACH-STUTTGART · M. v. ROHR-JENA · E. ROTHER-KIEL · H. RUKOP-BERLIN · R. SCHALLER-JENA E. SCHIEBOLD-BERLIN . R. SCHMIDT-BERLIN · L. SCHNEIDER-MÜNCHEN · O. SCHÖNROCK-BERLIN · A. SMEKAL-WIEN · G. STÜVE-KIEL · O. TETENS-LINDENBERG · E. WAETZMANN-BRESLAU · W. WESTPHAL-BERLIN · W. ZERKOWITZ-MÜNCHEN

HERAUSGEGEBEN VON

A. BERLINER UND K. SCHEEL

(VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9)

MIT 578 TEXTFIGUREN, VI UND 903 SEITEN, IM FORMAT DIESES PROSPEKTES

GEBUNDEN 39 GOLDMARK, 9,30 DOLLAR

Das Physikalische Handwörterbuch soll über die Einzelheiten der Physik und der physikalischen Technik eine erste Belehrung geben, und zwar auf kürzerem Wege, als auf dem oft unbequemen der Lehrbücher, Handbücher, Einzeldarstellungen und dergl. Es ist nicht in erster Linie für die Physiker bestimmt, aber es soll auch dem Physiker ermöglichen, sich schnell über Gebiete zu unterrichten, die seinem eigenen Arbeitsgebiete fern liegen. Noch mehr als für die Physiker ist das Buch für diejenigen bestimmt, die die Physik als Hilfsfach gebrauchen: für die Physiologen, die Chemiker, die physikalischen Chemiker, die Ingenieure und besonders für die Lehrer der höheren Lehranstalten.

Ein Bild von der Reichhaltigkeit des Wörterbuches und von der Form der Beiträge geben die nachfolgend zusammengestellten Artikel.


Digitized by Google

Ballistik. Die praktische Ballistik umfaßt den Betrieb des praktischen Schießens. Die theoretische Ballistik, von der allein hier die Rede ist, hat es zu tun mit dem Studium der beim Schuß aus der Waffe auftretenden Bewegungserscheinungen, also mit den Bewegungen des Geschosses und der Waffe und den daran sich anschließenden Fragen, soweit diese der mathematischen und physikalischen bzw. chemischen Untersuchungsweise unterliegen können. Und zwar verfolgt die sog. innere Ballistik das Verhalten des Geschosses, der Waffe und der Ladung von dem Moment der Entzündung des Pulvers ab bis zum Durchgang des Geschosses durch die Mündung des Geschützes oder Gewehrs; die äußere Ballistik weiterhin von dem letztgenannten Moment ab bis zu demjenigen, wo das Geschoß in das Ziel eingedrungen ist und daselbst zur Ruhe kommt.

Hinsichtlich der dabei in Betracht kommenden Aufgaben ist folgendes zu sagen: Bei dem speziellen innerballistischen Hauptproblem handelt es sich darum, den Gasdruck und die Geschoßgeschwindigkeit innerhalb des Rohrs als Funktion der Zeit und des Geschoßwegs zu ermitteln und für irgend einen Moment den Bruchteil der Ladung zu finden, der bis dahin verbrannt ist; dabei ist angenommen, daß für die gewählte Pulversorte die verschiedenen Pulverkonstanten (s. d.) bekannt und daß das Kaliber, die Rohrlänge, der Verbrennungsraum, die Drallkurve, das Geschoßgewicht und das Ladungsgewicht gewählt seien. Sekundäre Probleme zu diesem Hauptproblem beziehen sich auf die Bewegungen der Waffe, einschließlich der Rohrschwingungen, auf die günstigste Gestalt der Drallkurve, auf die Rohrerwärmung beim Schuß, auf die Ausbrennungserscheinungen und damit auf die Lebensdauer der Rohre, auf die Ermittelung des Widerstandes beim Einpressen des Geschosses in die Züge und des Widerstands in den Zügen, auf die Bewegung des verbrannten und des unverbrannten Pulvers und auf die Nachwirkung der aus der Mündung ausströmenden Pulvergase gegenüber Geschoß und Waffe, auf den Mündungsknall und dessen Abdämpfung, endlich auf die Ursache des „Mündungsfeuers“ und des „Feuers aus der Mündung“ und auf deren Beseitigung.

Ferner das spezielle außerballistische Problem im engsten Sinne ist die Aufgabe, bei gegebenen Anfangsdaten die verschiedenen Flugbahnelemente (s. d.) zu berechnen oder graphisch zu ermitteln, wenn für die betreffende Geschoßform der Luftwiderstand in Funktion der Geschoßgeschwindigkeit und die Luftdichte in ihrer Abhängigkeit von der augenblicklichen Höhe des Geschosses über dem Erdboden bekannt ist; bei diesem speziellen Problem ist vorausgesetzt, daß die Geschoßlängsachse dauernd in der Bahntangente liege und daß von störenden Einflüssen wie Wind, Geschoßpendelungen, Erdrotation usw. abgesehen werden dürfe. Der Einfluß des Winds, der Geschoßrotation, der Erdrotation, sowie einer Eigenbewegung der Waffe oder des Ziels oder der Waffe und des Ziels, ferner die Wirkung des Geschosses im Ziel, speziell die sog. Dum-Dum-Wirkung, und umgekehrt die Wirkung des Ziels auf das Geschoß, das Verhalten der Zündergeschosse, endlich die zufälligen und die konstanten Geschoßabweichungen bilden wichtige sekundäre Probleme der äußeren Ballistik.

Die experimentelle Ballistik umfaßt die sämtlichen Messungs-, Beobachtungs- und Registriermethoden, die sich auf die mannigfaltigen Bewegungen von Geschoß, Waffe und Pulver beziehen. *C. Cranz* und *O. v. Eberhard*

Näheres s. Lehrbuch der Ballistik von C. Cranz unter Mitwirkung von K. Becker. Bd. I: Äußere Ballistik; Bd. III: Experimentelle Ballistik; Bd. IV: Tabellen, Diagramme und photographische Aufnahmen; (Bd. II, Innere Ballistik unter Mitwirkung von O. Poppenberg, in Vorbereitung). Dort zahlreiche Literaturangaben. Leipzig 1910/18. — P. Charbonnier, Balistique intérieure. Paris 1908.

Biegsame Welle. Die Laval-Dampfturbinen müssen zwecks rationeller Ausnützung des Dampfes mit minutlichen Umdrehungszahlen von 9000 bis 30000 laufen. Schon die geringste Exzentrizität der Radscheibe ergibt bei den höheren Tourenzahlen gewaltige Fliehkräfte, denen keine starre Welle standhält. Laval dimensionierte die Welle lang und schwach und löste dadurch das Problem glänzend. Ein auf einer biegsamen Welle mit geringer Exzentrizität befestigter Körper führt eine Bewegung aus, die sehr wesentlich von der Schwingungsdauer der Welle, also ihrer Elastizität abhängt. Bei der kritischen Tourenzahl ist die Schwingungsdauer der Welle gleich der Zeit einer Umdrehung; in diesem Fall liegt die Gefahr der Zerstörung vor. Bei den erwähnten Umdrehungszahlen befindet man sich weit über der kritischen und eine Zerstörung der Welle durch Fliehkraftwirkung ist ausgeschlossen. Die kritische Tourenzahl einer Welle ist.

$$n_k = 300\sqrt{\frac{P}{Q}},$$

worin P jene Kraft ist, die, als Biegungslast an der ruhenden Welle angebracht, einen Biegungspfeil von 1 cm hervorbringen würde, und das Gewicht des Turbinenrades mit Q bezeichnet ist. Die Theorie der elastischen Welle ist erstmals von A. Föppl sen. aufgestellt worden. *L. Schneider.*

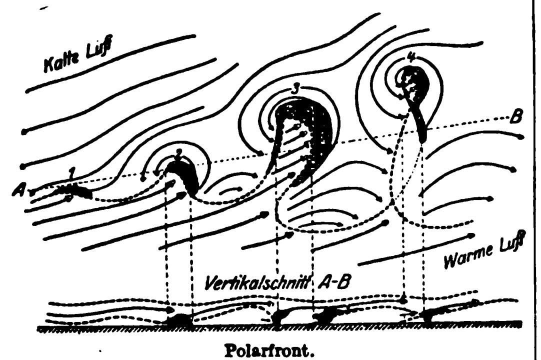
Blinder Fleck. Die Sehnervenfasern als solche werden durch das in das Auge gelangende Licht nicht erregt, vielmehr ist die Umsetzung der strahlenden Energie in Nervenerregung an die Ausbildung besonderer Aufnahmeapparate, der Stäbchen und Zapfen gebunden. An der Eintrittsstelle des Sehnerven in die Netzhaut (s. Figur, S. 56) fehlt ein solches Sinnesepithel; das auf die Papill. nerv. opt. fallende Licht wird daher nicht empfunden, das Auge ist an dieser Stelle blind. Daß man den hierdurch bedingten Ausfall nicht ohne weiteres als Lücke im Gesichtsfeld wahrnimmt, liegt beim binokularen Sehen daran, daß die blinden Stellen beider Netzhäute nicht die Lage identischer Netzhautstellen (s. Raumwerte der Netzhaut) haben, die beiden monokularen Gesichtsfelder (s. dort) sich also gegenseitig ergänzen; beim Sehen mit einem Auge kommt der blinde Fleck infolge einer psychischen Ergänzung des Gesichtsfeldes von der Umgebung her im allgemeinen nicht zur Beobachtung. Unter Verwendung kleiner Prüfungsobjekte, deren Bild ganz in den blinden Fleck fällt, gelingt es indessen leicht, seine Existenz nachzuweisen und seine Lage, Größe und Form in der Projektion nach außen zu bestimmen. Solche Bestimmungen ergeben, daß die Mitte des blinden Fleckes auf der Netzhaut durchschnittlich 4 mm von der Stelle des direkten Sehens (s. Gelber Fleck) entfernt liegt, und zwar nach innen und etwas nach oben von dieser, woraus sich seine Identität mit der Sehnervenpapille sicher erweisen läßt. Die Breite des blinden Fleckes beträgt etwa 1,5 mm, so daß auf seinem Durchmesser 11 Vollmonde

Digitized by Google

Temperaturdifferenz vorhanden ist, deren Ausgleich durch den Prozeß angestrebt wird. Zur Erzeugung praktisch unbegrenzter Energiemengen genügt also nicht die Existenz eines sehr großen Wärmebehälters, sondern es werden zwei Wärmebehälter von beträchtlich verschiedener Temperatur erfordert. *Henning.*

Planckaches Wirkungsquantum, *universelle* Konstante von der Dimension einer *Wirkung* (= *Energie* mal *Zeit*), konventionelles Zeichen: h, spielt eine fundamentale Rolle in der *Quantentheorie* (s. d.), namentlich in der neueren *Bohrschen Theorie der Spektrallinien* (s. d.) und in der *Quantenstatistik* (s. d.) Von Planck 1900 eingeführt, hat sie ihre Stellung in der *Strahlungstheorie* (s. auch Plancksches Strahlungsgesetz) nicht nur behauptet, sondern seit Bohr auch die Bedeutung einer universellen Konstante des *Atombaus* gewonnen. Als strahlungstheoretische Konstante geht sie in den Planckschen Ansatz für die *Oszillator*-Energie und die *Bohrsche Frequenzbedingung* (s. d.) ein, als Atombau-Konstante in die *Quantenbedingungen* (s. d. und Bohr-Rutherfordsches Atommodell). Ihr derzeit (1920) genauester Wert wird von Ladenburg zu $h = 6{,}54 \cdot 10^{-27}$ erg. sec angegeben, mit einer Genauigkeit von etwa zwei Promille. *A. Smekal.*

Polarfront. Nach Bjerknes gibt es in jeder beweglichen Zyklone zwei Konvergenzlinien, die vom Zentrum ausgehen. Zwischen denselben liegt ein Gebiet mit warmer Luft, der sogenannte warme Sektor. Das Übrigbleibende ist der kalte Sektor; letzterer ist stets der größere. Solange die Zyklone tätig ist, ist der warme Sektor meist nach Süden offen. In ihn strömt warme Luft ein und steigt dann an der östlich gelegenen Konvergenzlinie, der sogenannten Kurslinie oder warmen Front über der kalten Luft auf und bildet dadurch ein in derselben gelegenes breites Regengebiet (s. Figur). Durch Vordringen kalter Luft hinter der



Polarfront.

zweiten Konvergenzlinie, der sogenannten Böenlinie oder kalten Front, wird auch hier warme Luft gehoben. Es entsteht ein schmales Regengebiet mit sehr heftigen Niederschlägen (Böenregen). Bringt man die kalte Front einer jeden Zyklone mit der warmen Front der nächstfolgenden in Verbindung, so erhält man eine durchlaufende Linie, die sich bei ausreichenden Beobachtungen um die ganze Erde herum verfolgen ließe, und die die kalte Polarluft von der warmen Äquatorialluft trennt: die Polarfront (in der Figur durch eine stark geschwungene gestrichelte Linie dargestellt). Die Zyklonen sind Wellen an dieser Linie. In der Figur sind die verschiedenen Entwicklungsstadien einer solchen Welle gezeichnet. Man sieht bei 1 ein leichtes Einbiegen der Polarfront, dann dringt die kalte Luft immer weiter nach Süden, die warme immer weiter nach Norden vor, bis endlich in 4 zwei Kältewellen zusammengeklappt sind und die warme Luft abgeschnürt haben. Im weiteren Verlaufe wird dann der Rest warmer Luft gänzlich vom Boden abgehoben und die Zyklone stirbt. Dafür bildet sich dann weiter im Süden an der Vereinigungsstelle der beiden Kältewellen eine neue Zyklone aus. Weiteres s. Physik der freien Atmosphäre. Sonderheft 1921. *G. Stüve.*

Radialgeschwindigkeiten der Sterne. Das Dopplersche Prinzip ergibt eine Verschiebung der Spektrallinien aus ihrer Normallage durch Entfernungsänderung zwischen Lichtquelle und Beobachter. Diese Verschiebungen werden benutzt, um die Fixsternbewegungen im Visionsradius zu messen. Die Messung geschieht stets photographisch. Die Normallage der Linien wird durch ein beiderseits des Sternspektrums aufgelegtes Metallspektrum, meist des Eisens, festgestellt.

Die mittlere Radialgeschwindigkeit ist von der Größenordnung von 10 km und zeigt eine Abhängigkeit vom Spektraltyp, die in folgender Tabelle wiedergegeben ist.

Die Sterne des Spektraltypus B haben im Durchschnitt eine 8mal so große Masse als die übrigen;

Spektrum	Radialgeschwindigkeit
B	6,5 km/sec
A	11,0 „
F	14,4 „
G	15,0 „
K	16,8 „
M	17,1 „
Planetarische Nebel	25,8 „

es scheint aber nicht angängig, sie ohne weiteres mit größeren Molekülen in einem Gasgemisch zu vergleichen. Auch zeigt sich, daß die B-Sterne im Mittel eine Bewegung von uns weg zeigen, wofür eine plausible Erklärung bisher nicht gefunden ist. Auf jeden Fall scheint dieser sog. K-Effekt nicht als Einstein-Effekt gedeutet werden zu dürfen. Zweifellos sind nicht alle Spektrallinienverschiebungen als Radialgeschwindigkeiten zu deuten. Die größten Radialgeschwindigkeiten einzelner Sterne betragen mehrere Hundert Kilometer pro Sekunde. Es sind das fast ausnahmslos absolut schwache Sterne der Typen G K M.

Auffallend große Radialgeschwindigkeiten von über 1000 km/sec zeigen einige Spiralnebel. Doch können hier leicht auch andere unbekannte Ursachen der Linienverschiebung zugrunde liegen.

Viele Sterne zeigen variable Radialgeschwindigkeiten. Die Variabilität ist meistens auf Bahnbewegung zurückzuführen; bei vielen spektroskopischen Doppelsternen sind die Bahnelemente bestimmt (s. Doppelsterne). Etwa ein Viertel aller Sterne erweisen sich als spektroskopische Doppelsterne. Aber es kann noch andere Ursachen der Veränderung der Radialgeschwindigkeit geben, wie Strömungen an der Oberfläche, Pulsationen der Himmelskörper, Explosionen von Gasmassen. *Bottlinger.*

Näheres s. W. W. Campbell, Stellar Motions.

Raumakustik behandelt alle Fragen, welche sich auf das akustische Verhalten geschlossener Räume

Digitized by Google

Hertzsche Mechanik. Der von Heinrich Hertz in seinen „Prinzipien der Mechanik, Leipzig 1894" eingeschlagene neue Weg, die Mechanik darzustellen, setzt sich zum Ziel, den Begriff der Kraft aus der Mechanik völlig zu entfernen. Hertz sucht dieses Ziel zu erreichen durch Aufstellen seines Prinzipes der geradesten Bahn. Dieses geht aus von folgenden Begriffen. Sind m_i die Massen der Einzelpunkte eines Systems, v_i ihre Geschwindigkeiten, so wird mit der Gesamtmasse m die „Geschwindigkeit v des Systems" definiert durch die Mittelwertsbildung

$$m\, v^2 = \Sigma\, m_i\, v_i^2.$$

Die Bewegung des Systems heißt „gleichförmig", wenn die „Geschwindigkeit des Systems" sich nicht mit der Zeit ändert, während die Einzelmassen sich ganz ungleichförmig bewegen können. Ebenso wird die „Beschleunigung b des Systems" aus den Beschleunigungen b_i der Einzelmassen definiert durch die Mittelwertsbildung

$$m\, b^2 = \Sigma\, m\, b_i^2.$$

Endlich wird unter der „Bahnkrümmung k des Systems" verstanden die Größe

$$k = \frac{\sqrt{b^2 - \left(\frac{d\,v}{d\,t}\right)^2}}{v^2}.$$

Nennt man ein System „frei", wenn seine Koordinaten nur geometrischen, von der Zeit unabhängigen Bedingungen unterworfen sind, wenn also insbesondere keine eingeprägten Kräfte auf es wirken, so lautet das *Hertzsche Prinzip*: Jedes freie System beharrt im Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung in einer geradesten Bahn. Ausgehend von diesem Prinzip, aus welchem der Begriff der Kraft völlig verschwunden ist, sucht Hertz die Mechanik in der Weise aufzubauen, daß an die Stelle von Fernkräften die Verkoppelung mit verborgenen zyklischen Systemen (s. Koordinaten der Bewegung) tritt, deren Bewegungsenergie mit dem Potential jener Fernkräfte identifiziert wird. Die Druckkräfte dagegen werden durch geometrische Führungsbedingungen ersetzt in ähnlicher Weise, wie dies bereits Lagrange getan hatte (s. Impulssätze).

Es darf nicht verschwiegen werden, daß die Hertzsche Mechanik bis heute eigentlich nur ein Programm geblieben ist; doch erscheint die moderne Entwicklung der Physik in der Gestalt des allgemeinen Relativitätsprinzipes in gewissem Sinne als Fortsetzung des Hertzschen Gedankens. Das Gravitationsfeld als Träger der metrischen Eigenschaften des Raumes spielt die Rolle der geometrischen Bedingungen, denen das der Gravitation unterworfene System gehorchen muß; dessen Bahn aber ist eine geradeste.

R. Grammel.

Näheres über die Hertzsche Mechanik s. außer in Hertz' Prinzipien der Mechanik, Leipzig 1894, insbesondere bei A. Brill, Vorlesungen zur Einführung in die Mechanik raumerfüllender Massen, Leipzig 1909.

Hodograph. Hodograph einer Translationsbewegung heißt nach Hamilton die Kurve, die man erhält, wenn man die sukzessiven Geschwindigkeitsvektoren ihrer Größe und Richtung nach von einem festen Punkt aus aufträgt. Sie stellt daher, in rechtwinkligen Koordinaten aufgefaßt, die Abhängigkeit zwischen den Geschwindigkeitskomponenten, oder, in Polarkoordinaten aufgefaßt, die Abhängigkeit zwischen Größe und Richtung der Geschwindigkeit dar. Die letztere Auffassung ist z. B. wichtig in der Ballistik, wo die Hodographengleichung unter Umständen streng integrabel ist, auch wenn das gleiche nicht für die Bewegungsgleichungen selbst gilt. In anderen Fällen gibt sie ein anschauliches Bild des Geschwindigkeitsverlaufs, so bei der Planetenbewegung, wo sie ein Kreis wird.

Ist nämlich $r = p/(1 + \varepsilon \cos\varphi)$ die Gleichung der Bahnellipse, $r^2 d/dt\, \varphi = C$ die Flächenkonstante, so findet man: $\frac{C}{p}\frac{dx}{dt} = -\sin\varphi$; $\frac{C}{p}\frac{dy}{dt} = \varepsilon + \cos\varphi$. Entsprechend können natürlich auch die Beschleunigungen als Vektoren von einem festen Punkt aufgetragen werden und führen zu Hodographen zweiter Ordnung.

F. Noether.

Näheres s. Enc. d. math. Wiss. IV, 3, S. 207 (Schoenfließ, Kinematik).

Mittel. Wenn für eine physikalische Größe verschiedene Werte $a_1 \cdots a_r \cdots a_n$ gemessen werden, so nimmt man gewöhnlich das *arithmetische Mittel* $a = \frac{1}{n}\sum^{n} a_n$ als besten Wert an; diese Annahme beruht auf der Wahrscheinlichkeitshypothese, daß gleich große Messungsfehler gleich häufig nach beiden Seiten das Resultat beeinflussen. Eine tiefere Begründung erfährt diese Annahme durch das *Gaußsche Fehlergesetz*. Andere Mittelbildungen s. bei Fehlertheorie und Bernouillisches Theorem. In anderen Fällen werden nicht nur verschiedene Werte gemessen, sondern die Größe selbst nimmt verschiedene Werte an; auch in diesem Falle führt man häufig einen Mittelwert in die Rechnung ein. Z. B. haben die Moleküle eines Gases in einem bestimmten Augenblick alle verschiedene Geschwindigkeiten, und aus diesen kann man ebenfalls das arithmetische Mittel bilden. Ein so gewonnenes Mittel über gleichzeitige Werte an verschiedenen Exemplaren heißt *statisches Mittel*. Man kann auch ein Molekül in seiner Bahn verfolgen und das arithmetische Mittel aus den Geschwindigkeiten berechnen, die es nacheinander annimmt; ein solches Mittel über zeitlichfolgende Werte an demselben Exemplar heißt *historisches Mittel*. Sind die Einzelwerte stetig veränderlich, so wird die Summation bei der Mittelbildung zur Integration; häufig wählt man diese auch da, wo es sich streng genommen um diskrete Einzelfälle handelt, die aber sehr nahe beieinander liegen und sehr zahlreich sind.

Reichenbach.

Perpetuum mobile erster und zweiter Art. Unter einem Perpetuum mobile erster Art versteht man eine Maschine, die ohne Aufwendung irgend welcher Arbeit ständig Energie liefern soll. Ihre Konstruktion ist von vielen Erfindern vergeblich versucht worden. Ein solches Perpetuum mobile würde in Gegensatz zu dem häufig mit außerordentlicher Genauigkeit geprüften Erfahrungssatz von der Erhaltung der Energie stehen, der aussagt, daß Energie irgend einer Form nur dann in die Erscheinung tritt, wenn sie in einer andern Form verschwindet und daß die Energiemengen beider Formen genau gleich sind.

Perpetuum mobile zweiter Art heißt eine andere Maschine, die ebenfalls nicht verwirklicht werden kann, die aber mit dem Energieprinzip nicht in Widerspruch steht. Ihre Wirkungsweise ist derart gedacht, daß sehr großen Wärmebehältern wie etwa dem Meereswasser oder der Luft unter Abkühlung ständig Energie entzogen wird und also fortlaufend Wärme direkt in mechanische Arbeit verwandelt wird. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik erhebt zum Prinzip, daß eine solche Maschine unmöglich ist und führt zu zahlreichen Ergebnissen, die mit der Erfahrung in sehr genauer zahlenmäßiger Übereinstimmung stehen, wenn die Annahme gemacht wird, daß Wärme ohne Aufwendung von Arbeit nur dann fortlaufend in eine andere Energieform übergeführt werden kann, wenn eine

Digitized by Google

Platz finden würden und daß in ihm ein 2,5—3 m entferntes menschliches Gesicht verschwinden kann. *Dittler.*

Näheres s. v. Helmholtz, physiol. Optik, 3. Aufl., Bd. 2, S. 24—28. Leipzig 1911.

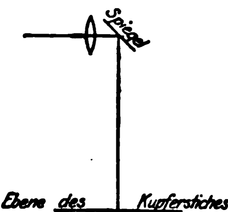
Curie-Einheit. Zu Ehren des französischen Forscherehepaares Marya und Pierre Curie wurde die mit 1 g Radiumelement im Gleichgewicht (s. d.) stehende Menge Emanation ein Curie genannt. Diese Einheit wird im Bedarfsfalle unterteilt in Milli-, Micro-Curie etc. 1 Curie Ra-Emanation erfüllt bei 0° C und 760 mm Druck ein Volumen von 0,6 mm^3, wiegt $6 \cdot 10^{-6}$ g, enthält $1{,}7 \cdot 10^{16}$ Atome, liefert pro Stunde eine Wärmemenge von 29 cal und entsprechend der mittleren Lebensdauer von 133 Stunden insgesamt 3860 cal; 1 Curie vermag im Falle vollkommener Ausnützung seiner α-Partikel einen Sättigungsstrom von $2{,}75.10^6$ stat. Einheiten zu erhalten. Diesem experimentellen Wert steht der gerechnete Wert von $2{,}99 \cdot 10$ nahe. *K. W. F. Kohlrausch.*

Entglasung. Darunter versteht man die Vorgänge, durch die das Glas seine Durchsichtigkeit, überhaupt seine homogene Beschaffenheit einbüßt. Das kann geschehen durch Zersetzungserscheinungen chemischer Natur, die Fremdstoffe verursachen können (s. Widerstandsfähigkeit), ferner dadurch, daß der glasige Zustand von selbst in den kristallisierten übergeht. Der zuletzt genannte Vorgang, die eigentliche Entglasung, tritt in der Regel innerhalb eines gewissen Temperaturbereichs ein. Sie ist nur möglich unterhalb der Sättigungstemperatur, wo die Schmelzlösung in bezug auf einen Bestandteil gesättigt ist, oder bei Gläsern, die reine Stoffe sind, unterhalb des Schmelzpunktes der kristallisierten Phase. Nach unten zu ist der Entglasung dadurch eine Grenze gesetzt, daß sich bei fallender Temperatur die Hindernisse (innere Reibung), die sich der Kristallisation entgegenstellen, rasch vermehren. Die Geschwindigkeit der Entglasung und wohl auch ihre untere Grenze kann durch Fremdstoffe katalytisch beeinflußt werden. Die Entglasungsfähigkeit hängt von der Zusammensetzung des Glases ab. Fensterglas (Natron-Kalkglas) bekommt beim Erweichen schnell eine rauhe Oberfläche, es eignet sich daher nicht zur Verarbeitung vor der Glasbläserlampe; borsäurereiche Gläser trüben sich beim Erweichen leicht. *R. Schaller.*

Geotherme Tiefenstufe. Die Temperaturbeobachtungen in den uns zugänglichen Teilen der Erdrinde zeigen, daß, abgesehen von einer mehrere Meter dicken Schichte, in welcher sich noch der Einfluß der Sonnenwärme geltend macht, die Temperatur nach innen zunimmt. Die Strecke, auf welcher die Temperatur um 1° C wächst, bezeichnet man als geotherme Tiefenstufe. Ihre Größe ist sehr verschieden und schwankt zwischen etwa 20 m und 120 m. Sie hängt von dem Wärmeleitungsvermögen des Gesteins ab. Je größer dieses ist, desto größer ist auch die geotherme Tiefenstufe. Im Mittel nimmt man etwa 35 m an. Die Beobachtungen reichen bis zu einer Tiefe von beiläufig 2 km. Über den weiteren Verlauf der Temperatur im Erdinnern sind wir vollständig ununterrichtet. Jedenfalls muß man annehmen, daß die Größe der geothermen Tiefenstufe nach innen sehr stark abnimmt, wenn man nicht zu unwahrscheinlich hohen Temperaturen kommen will. *A. Prey.*

Näheres s. M. P. Rudzki, Physik der Erde. Leipzig 1911.

Guckkasten (Verant). Perspektivische Darstellungen, die der Künstler unmittelbar, wie Gemälde und Zeichnungen, dem Beschauer darbietet, lassen sich ohne Hilfsmittel betrachten, wenn nur der — gegebenenfalls bebrillte — Beschauer seinen Betrachtungsabstand übereinstimmend mit dem Arbeitsabstande des Künstlers wählt. Diese einfachen Verhältnisse änderten sich merkbar, als weiteren Kreisen Kupferstiche in verkleinertem Maßstabe zugänglich wurden; diese erforderten hinsichtlich der Richtigkeit des Eindrucks die Einhaltung eines entsprechend verkleinerten Betrachtungsabstandes, was wohl Kurzsichtigen gelang, alterssichtig gewordenen Betrachtern aber unmöglich war. Da man nun in älterer Zeit den ziemlich kostspieligen Kupferstichen mit einem heute verschwundenen Verständnis gegenübertrat, so lag die Aufgabe vor, auch altersichtig gewordenen normalen Augen die Einhaltung des richtigen Abstandes zu ermöglichen. Man leistete das zunächst durch Spiegelkästen, um die Mitte des 18. Jahrhunderts durch Linsenvorrichtungen (*Guckkästen*), wobei durch eine Sammellinse einigermaßen kurzer Brennweite — genauer hätte sie dem Abstande des perspektivischen Zentrums von der Ebene des Kupferstichs gleichkommen müssen — das Blatt unter richtigeren Winkeln virtuell (s. Fig.) in einer Entfernung entworfen wurde, auf die der Alterssichtige akkommodieren konnte. Von sehr schönen Guckkästen (*optique, shew-box*) hat man namentlich vom Hofe Ludwigs XV Nachricht, und gegen den Ausgang des 18. Jahrhunderts war der Guckkasten, wie man aus den Werken unserer Klassiker und gleichzeitigen Schriften nachweisen kann, zu einem in Bürgerhäusern sehr weit verbreiteten Unterhaltungsmittel geworden. — Störend wirkte der kleine Bildwinkel, den die nicht besonders leistungsfähigen Brillengläser dem Betrachter nur zur Verfügung stellten, und es scheint, als ob die Freude am Guckkasten bereits im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts nachgelassen habe. Die Verhältnisse änderten sich zum schlechteren, als mit der Entwicklung der Lichtbildverfahren jedenfalls in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts große Massen von Landschafts- und Städtebildern billig auf den Markt kamen. Daß es auch bei diesen Perspektiven auf die Einhaltung eines bestimmten Abstandes (gleich der Brennweite der Aufnahmelinse) ankäme, war der Menge der Käufer völlig verborgen, die zum Verständnis der Lichtbilder ja auch in keiner Weise angeleitet wurden. Diese durchaus unrichtige Betrachtung der Mehrzahl der Lichtbilder mit bloßem Auge wurde um so unbefriedigender, je kürzer die Aufnahmebrennweiten wurden, eine Entwicklung, die sich immer mehr durchsetzte. Die nunmehr nötigen Betrachtungslinsen hätten 10 bis 15 cm, ja bei den kleinen Taschenkammern 7 bis 10 cm Brennweite haben müssen. A. Gullstrand schlug 1901 vor, Betrachtungslinsen so kurzer Brennweite für die Unterstützung des blickenden Auges (s. Brille u. Augendrehung) zu berechnen und sie zur Ausrüstung eines neuen Guckkastens für Lichtbilder zu verwenden, bei dem der Spiegel unnötig war. Solche Einrichtungen sind 1903 als Veranten auf den Markt gebracht worden. *v. Rohr.*



Anlage der Guckkästen im 18. Jahrhundert.

Näheres s. M. v. Rohr, Zeitschr. f. Instrumentenkunde. 1905, 25, 293—305; 329—339; 361—371.

Digitized by Google

beziehen, soweit dasselbe die mehr oder weniger deutliche und gute Hörbarkeit des in dem betreffenden Raume erzeugten Schalles an allen Stellen des Raumes bedingt. Die „Akustik" eines Raumes ist gut, wenn jeder an irgend einer Stelle desselben erzeugte Schall (besonders Sprache und Musik) an jeder beliebigen Stelle des Raumes gut und deutlich zu hören ist. Unter dem „gut hören" ist zu verstehen, daß einerseits nicht jeder Nachhall (s. d.) fehlt, damit der Schall nicht „leer" klingt, und daß sich andererseits nirgends ein zu starker Nachhall bemerkbar macht, weil sonst z. B. die Sprache „hallend" und verwaschen wird. Hierfür kommen nicht nur die Reflexions-, sondern auch die Absorptionsverhältnisse in Betracht (s. Absorption des Schalles).

Der Idealfall, daß jede Art von Schall, die an einer beliebigen Stelle des Raumes erzeugt wird, auch an jeder beliebigen Stelle „gut" gehört wird, ist praktisch nicht zu verwirklichen. Vielmehr bietet schon die Lösung des viel einfacheren Problems, daß der an einer bestimmten Stelle des Raumes erzeugte Schall besonderer Art (Stimme, Musik) an allen anderen Stellen „gut" hörbar sein soll, fast unüberwindliche Schwierigkeiten, zumal sich die akustischen Rücksichten in der Regel Rücksichten anderer Art (Architektonik) unterordnen müssen. Immerhin könnte bei verständiger Berücksichtigung der akustischen Gesetze schon manches gebessert werden.

So können, ganz abgesehen von der Anlage des gesamten Raumes, schon kleine Änderungen, z. B. in der Form der Rednerkanzel, die „Akustik" sehr viel besser machen. In einem gelegentlich der Jahrhundertfeier der Breslauer Universität aufgeschlagenen, rund 7000 Personen fassendem Zelte war die Stimme eines Redners mit guter Sprechtechnik an fast allen Stellen des Zeltes gut zu verstehen, nachdem die Kanzel eine passende Form erhalten hatte. Bei geringfügigen Änderungen (Vorschieben oder Zurückziehen der Seitenwände der Kanzel) traten merkliche Verschlechterungen ein.

E. Waetzmann.

Näheres s. W. C. Sabine, Architectural Acoustics, Proc. Amer. Acad. 42, 1906.

Stufengitter. Man kann die auflösende Kraft eines Beugungsgitters (s. d.) einmal durch Vergrößerung der Zahl der beugenden Spalte, dann aber auch durch Erhöhung des Gangunterschiedes zwischen den einzelnen interferierenden Büscheln steigern. Letzteres bedingt bei den höheren Ordnungen eines gewöhnlichen Beugungsgitters die größere auflösende Kraft. Von Michelson ist zu dem gleichen Zweck ein anderer Weg eingeschlagen worden beim sog. Stufengitter oder Echelon. Das Prinzip dieser Anordnung ist folgendes: Betrachten

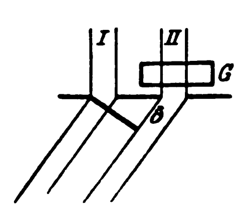
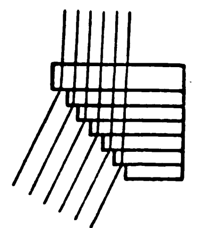



Fig. 1. Prinzip des Stufengitters.


Fig. 2. Michelsons Stufengitter.

wir ein Gitter mit zwei beugenden Spalten, so ist der Gangunterschied der unter einem bestimmten Winkel abgebeugten Strahlenbüschel durch die Strecke δ gegeben. Dieser Gangunterschied ist verhältnismäßig klein. Wir können ihn aber erheblich vergrößern, wenn wir vor der Spalte II eine Glasplatte G anbringen. Dieses Prinzip ist beim Stufengitter benutzt. Es besteht aus einer Staffel von planparallelen Glasplatten gleicher Dicke, bei der die gleich breiten Treppenstufen die Rolle der beugenden Spalte übernehmen. Die Glasplatten sind bis zum Verschwinden der Luftzwischenräume zusammengepreßt. Bei diesem Apparat werden dann die Gangunterschiede der einzelnen Büschel sehr groß und das Auflösungsvermögen wird trotz der kleinen Zahl der verwendeten zur Interferenz kommenden abgebeugten Büschel ein sehr großes. Der Nachteil bei dieser Anordnung ist der, daß die Spektren der verschiedenen Ordnungen sehr rasch aufeinander folgen und sich überlagern. Das Instrument kann deshalb nur benutzt werden, wenn es sich um die feinere Untersuchung sehr enger Spektralbezirke, etwa einzelner Spektrallinien handelt. *L. Grebe.*

Näheres Gehrcke, Anwendungen der Interferenzen in der Spektroskopie und Metrologie. Braunschweig 1906.

Zwischenlichtquellen. Zu photometrischen Messungen verwendet man außer einer Einheitslampe auch noch Zwischenlichtquellen, und zwar als *Normallampen* und als *Vergleichslampen.*

Normallampen sind konstant in der Lichtstärke brennende, mittels einer Einheitslichtquelle ausgewertete Lampen, die man für technische Lichtmessungen vorzugsweise an Stelle der Einheitslampe benutzt. Die letztere ist für diese Zwecke wegen ihrer verhältnismäßig umständlichen Handhabung, außerdem noch wegen des teuren Brennstoffes im allgemeinen wenig geeignet.

Vergleichslampen benutzt man bei der Messung nach der Substitutionsmethode (s. „Photometrie gleichfarbiger Lichtquellen", Nr. 4, und „Universalphotometer"), also in der Weise, daß man mittels derselben dauernd das eine, mittels der zu messenden Lampe und der Normallampe nacheinander das andere Photometerfeld beleuchtet. Die Lichtstärke der Vergleichslampe braucht nicht bekannt zu sein; auch braucht die Lampe in bezug auf Konstanz meistens nicht allzuhohen Ansprüchen zu genügen.

Als Zwischenlichtquellen kommen Benzinkerzen (z. B. früher im Weberschen Photometer), Petroleumlampen, Argandlampen, und Azetylenlampen mit ausgeblendeter Flamme (Methven, Jones), auf konstantem Gasverbrauch erhaltene Gasglühlichtapparate, insbesondere mit Akkumulatoren gespeiste, mit konstanter Spannung oder Stromstärke brennende *elektrische Glühlampen* in Betracht. In der Praxis ist es üblich, die als Normallampen benutzten elektrischen Lampen bei normaler Spannung anzuwenden. Zur Erzielung einer möglichst großen Konstanz in der Lichtstärke empfiehlt es sich, dieselben mit einer geringeren Spannung brennen zu lassen und sie vor der Konstanzprüfung und Auswertung hinreichend lange (mindestens 50 Stunden) altern zu lassen. Auch zu Vergleichslampen bestimmte elektrische Lampen sollte man aus demselben Grunde vor dem Gebrauche einige Zeit altern.

Zu Normallampen sind nur elektrische Glühlampen geeignet, während die auf einem Verbrennungsprozeß beruhenden Lichtquellen höchstens als Vergleichslampen zu verwenden sind.

Liebenthal.

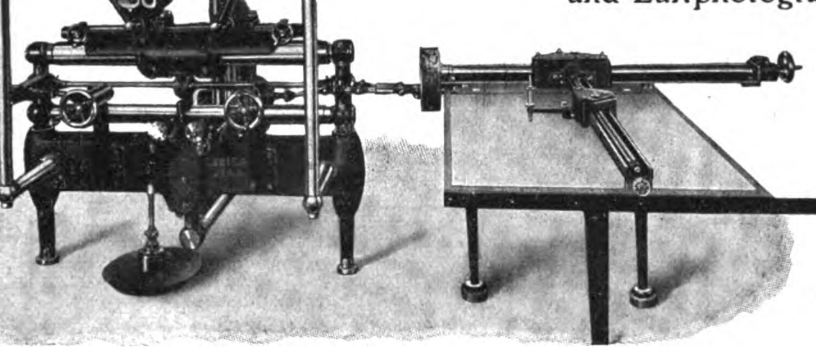
Näheres s. Liebenthal, Prakt. Photometrie. Braunschweig Vieweg & Sohn, 1907.

1. 7. 24. 1600.

Digitized by Google



Stereo-
Planigraph

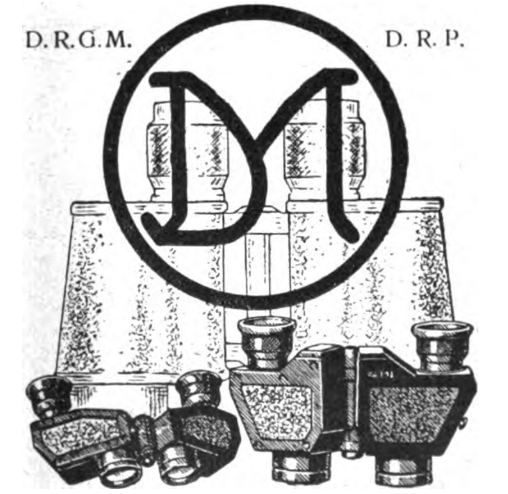


Aufnahmegeräte und automatische Apparate zur Kartierung für Erd- und Luftphotogrammetrie



Interessenten erhalten auf Wunsch kostenfrei eingehende Auskunft von Carl Zeiss, Jena, oder Konsortium „Luftbild-Stereographik" München, Sendlingertorplatz 1 I.





THEATIS TOURIX

KLEINSTE
UND BESTE PRISMENGLÄSER
HELLIGKEITSGEWINN BIS 25%

PRÄZISIONSOPTIK
Planparallelplatten, Prismen
*
GLASTEILUNGEN
Strichplatten, Fadenkreuze, Mikrometer, Mikrophotographie und Photo-Ätzung
*
SPIEGEL
Hellste Glasversilberung, vers., verk., lackiert. / 96% Reflexion lt. Prüfungsschein. / Durchsichtige und Vorder-Versilberung
*
MIKROSKOPISCHE PRÄPARATE
Schulsammlungen mit Textheft

J. D. MOELLER, WEDEL bei Hamburg
Optische Werke / Gegründet 1864

Digitized by Google

SCHACHT & WESTERICH

Zeichenbedarf **HAMBURG 1** Zeichengeräte

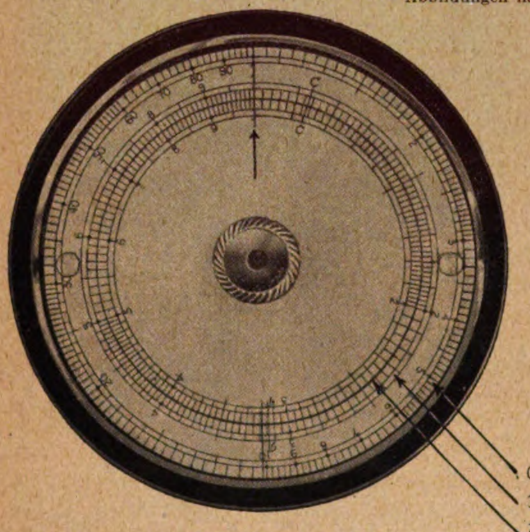
Kreisrechenschieber 8406

System Trentmann

Für kaufmännische und technische Rechen-Aufgaben

Präzisions-Skalen im Nickelgehäuse, $6\frac{1}{2}$ cm Durchmesser, 6 mm dick

Abbildungen natürliche Größe.



Präzisions-Skalen für Quadrate, Kuben sin tang und log

Besondere Vorzüge:

Bequem für die Tasche / Leichte Handhabung Vollendete und unveränderliche Präzision, daher größte Genauigkeit, geschlossener Zahlenkreis. StaubdichterVerschluß. Unverwüstlich i.Gebrauch.

Unser Kreisrechenschieber ermöglicht:

Multiplikation, Division, Potenzieren, Radizieren, Logarithmieren, Umrechnung von Watt in PS. Direkte Kreisinhalts-Bestimmung.

Siehe Begutachtung in vorliegender Zeitschrift, Januar-Ausgabe, Seite 27.

Preis RM. 8.25

einschließl. Etui und ausführlicher Anleitung.

An unbekannte Besteller nur gegen Voreinsendung des Betrages.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Freytags Hilfsbuch für den Maschinenbau

für Maschineningenieure sowie für den Unterricht an technischen Lehranstalten

Soeben erschien die siebente, vollständig neu bearbeitete Auflage

Unter Mitarbeit von
Prof. Dipl.-Ing. **M. Coenen,** Prof. **A. Schmidt,** Prof. Dr.-Ing. **G. Unold,**
Prof. Dr. **Fr. Wicke,** Prof. Dipl.-Ing. **C. Zietemann**

Herausgegeben von
Professor **Paul Gerlach**

1504 Seiten mit 2484 in den Text gedruckten Abbildungen, 1 farbigen Tafel und 3 Konstruktionstafeln

Gebunden 17,40 Goldmark

Die neue Auflage des bekannten Hilfsbuches hat gegenüber den früheren Auflagen eine Erweiterung und Vertiefung des behandelten Stoffes durch fachkundige Mitarbeiter erfahren.

Die Erweiterungen des mathematischen Teiles unter der Bearbeitung von Professor Dr. Wicke erstrecken sich auf alle Teilgebiete, deren Beherrschung von dem wissenschaftlich gebildeten Maschineningenieur gefordert wird.

Der Abschnitt Technische Mechanik von Professor Dr.-Ing. Unold ist in mehrfacher Hinsicht erweitert worden, ebenso der Abschnitt über Elastizität und Festigkeit von dem gleichen Verfasser. Völlig neu ist der ebenfalls von dem gleichen Verfasser behandelte Abschnitt Baustatik, der für die Berechnung von Krangerüsten, Fachwerkträgern u. a. von Bedeutung ist.

Neu gegliedert wurde der Abschnitt über die Maschinenteile in solche des allgemeinen Maschinenbaues und in solche, die vorzugsweise im Kolbenmaschinen- bzw. Hebezeugbau Verwendung finden.

Die Wärmemechanik, bearbeitet von Professor Dipl.-Ing. Zietemann, behandelt als selbständigen Abschnitt die zur Beurteilung der Wärmekraftmaschinen wichtigen Fragen.

Die Abschnitte Dampfmaschinen, Dampfturbinen, Kondensation, Verbrennungskraftmaschinen und Abdampf- und Abwärmeverwertung sind nach Anordnung und Inhalt des Stoffes erweitert und vollständig umgearbeitet worden. Das gleiche gilt von dem Abschnitt Dampfkessel und dem Abschnitt Wasserkraftmaschinen. Auch die Abschnitte Hebezeuge fester Körper, Hebewerke tropfbar flüssiger Körper, Kompressoren und Gebläse, Werkzeugmaschinen, Elektrotechnik sind neubearbeitet und wesentlich erweitert worden.

Digitized by Google

Präzisionsinstrumente
für Wechselstrom





Verlangen Sie unsere Auszugsliste und Sonderliste 56 II

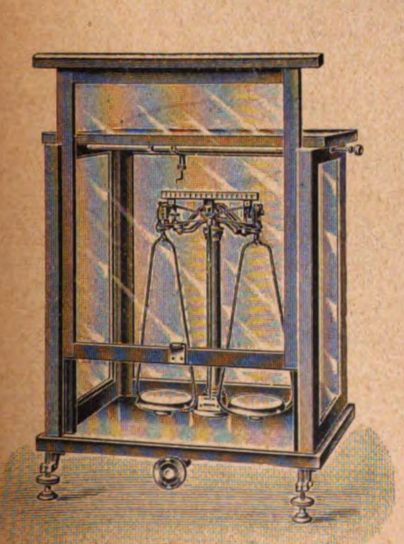
SIEMENS & HALSKE A.-G.

WERNERWERK, SIEMENSSTADT BEI BERLIN

SARTORIUS-WERKE

Aktiengesellschaft

GÖTTINGEN (Prov. Hannover)



Wagen und Gewichte

für wissenschaftliche, chemische und technische Zwecke

*

Analysenwagen

nur eigener, bewährtester Konstruktion, auf Grund 50jähriger Erfahrung mit allen Feinheiten und Verbesserungen ausgestattet.

*

In vielen Laboratorien und Instituten des In- und Auslandes im Gebrauch!

*

Preisliste „Präzis 6 A“ kostenfrei.

Digitized by Google

GOERZ

TRIEDER-BINOCLES

FÜR REISE, SPORT, JAGD, THEATER



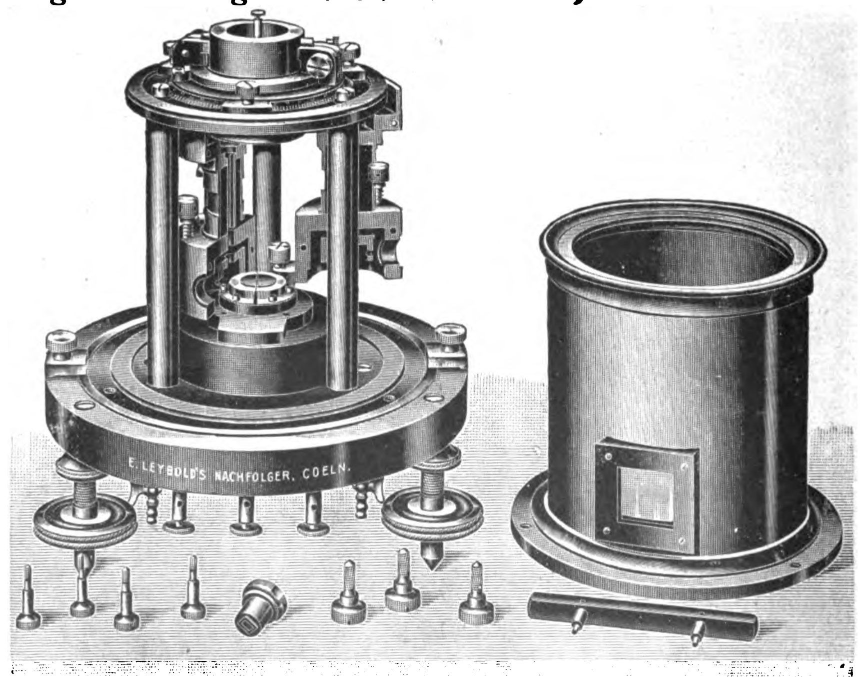
ZU BEZIEHEN DURCH
DIE OPTISCHEN GESCHÄFTE
KATALOG KOSTENFREI

OPTISCHE ANSTALT C. P. GOERZ A.-G.
BERLIN-FRIEDENAU 32

E. Leybold's Nachfolger A. G.

KÖLN a. RHEIN

Zweigniederlassung: **BERLIN NW. 7,** Dorotheenstraße 53



Hochempfindliches Elektrometer nach Hoffmann

Digitized by Google



Astronomische Instrumente:
Refraktoren, Zenitteleskope, Meridiankreise, Passage-Instrumente, Universal-Instrumente, Spektroskope und Spektrographen, Plattenmeßapparate, Astro- und Mikrophotometer, photographisch registrierende Mikrophotometer.

Geodätische Instrumente:
Universal-Instrumente, Mikroskop-Theodolite, Repetitions-Theodolite, Nivellier-Instrumente, Normalmeter, Komparatoren.

Geophysikalische Instrumente:
Pendelapparate, Drehwagen.

Meteorologische Instrumente:
Ballon-Theodolite, registrierende Ballon-Theodolite, Meteorographen, Barographen, Wolkenspiegel, Meßstation zur Bestimmung der Lage und Geschwindigkeit bewegter Ziele.

Erdmagnetische Instrumente:
Magnetische Normal- und Reise-Theodolite, Deklinatorien, Inklinatorien, Erdinduktoren, Lokal-Variometer, Registrier-Apparate.

Optische Meßinstrumente:
Polarimeter, Saccharimeter, Kolorimeter, Refraktometer, Spektralapparate, Spektroskope, Spektrometer, Primenwinkelmesser, Sphärometer.

Nautische Instrumente:
Kompasse, Kompaßhäuser, Sextanten, Lotmaschinen, Loggs, Chronometer, Variationsmagnetometer.

Aeronautische Instrumente:
Kompasse, Kompaßübertragungen, Statoskope.

Kinotechnische Instrumente:
Kinematographische Aufnahme-Apparate, Stative, Perforiermaschinen.

Fernrohre.

ASKANIA-WERKE A.-G.
vormals **CARL BAMBERG**
BERLIN-FRIEDENAU, Kaiser-Allee 87/88.



Digitized by Google



Experimentier-Schalttafel

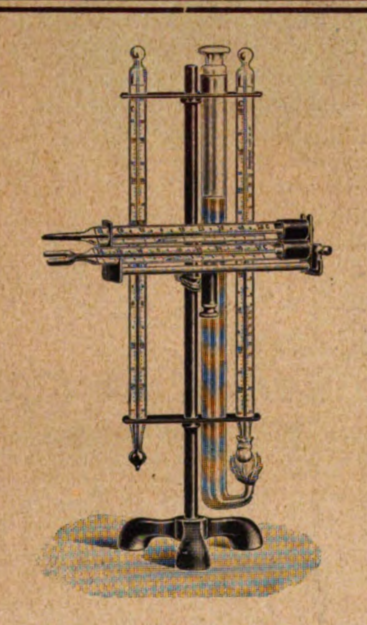
Max Kohl A.G. Chemnitz

Seit 1876 bestehend

Physikalische Apparate
Einrichtung von Hörsälen
Experimentier-Schalttafeln
Luftpumpen für Laboratorien
Funkeninduktoren

[6474]

Listen, Kostenanschläge, Beschreibungen usw. auf Wunsch



Original-Lambrechts
Psychrometer
mit selbsttätiger Wasserzuführung

Druckschrift 239

Wilh. Lambrecht, A.-G., Göttingen

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Maschinentechnisches Versuchswesen Band II

Maschinenuntersuchungen

und das Verhalten der Maschinen im Betriebe

Ein Handbuch für Betriebsleiter

Ein Leitfaden
zum Gebrauch bei Abnahmeversuchen und für den Unterricht an Maschinenlaboratorien

Von

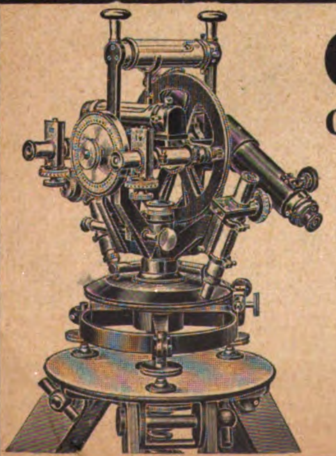
Professor Dr.-Ing. **A. Gramberg**
Oberingenieur
und Direktor an den Höchster Farbwerken

Soeben erschien die dritte, verbesserte Auflage

619 Seiten mit 327 Figuren im Text und auf 2 Tafeln

Gebunden 20 Goldmark

Erster Band: **Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen und zur Betriebskontrolle.** Zum Gebrauch an Maschinenlaboratorien und in der Praxis. Fünfte, vielfach erweiterte und umgearbeitete Auflage. 577 Seiten mit 326 Figuren im Text. 1923. Gebunden 18 Goldmark.



GUSTAV HEYDE

Gesellschaft für Optik und Feinmechanik m. b. H.

DRESDEN-N. 23



Universale Theodolite
Nivelliere

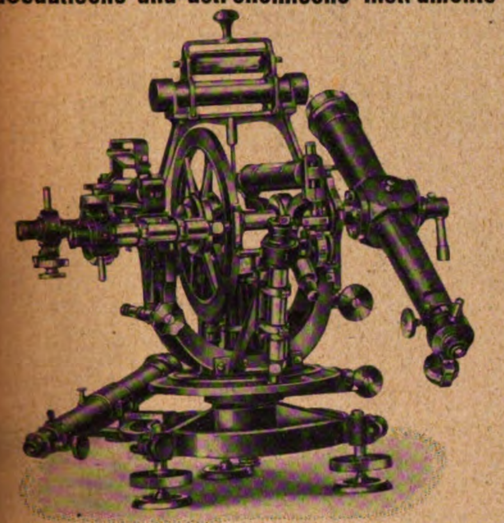
[6186]

Digitized by Google

F. W. Breithaupt & Sohn

CASSEL

Geodätische und astronomische Instrumente



Theodolite Universale Reise-Aus-rüstungen Bussolen





Grau- und Farbkeile
Grau- und Farbplatten
für optische Meßinstrumente in jeder Abstufung, Größe, Farbe und Form

*

Bisher angewendet in Instrumenten für Photometrie, Physik, Astronomie, Meteorologie, Medizin, Chemie, Photographie, Botanik usw.

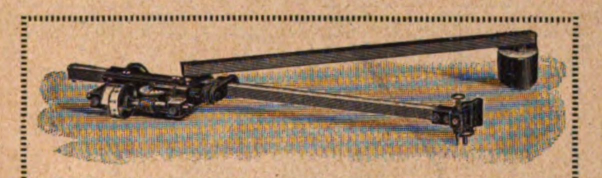
*

Ica A.-G. Dresden 138

DENNERT & PAPE / ALTONA

DUPA-WERKE

Geodätisch Mathematische Instrumente höchster Präzision



Rechenschieber Maßstäbe in Präzisionsausführung



Gegründet 1791

[6197]

HILDEBRAND

Präzisions-Instrumente

für alle Zweige des Vermessungswesens

MAX HILDEBRAND früher August Lingke & Co. G. m. b. H. FREIBERG-SACHSEN 50

Digitized by Google

Richard Müller-Uri, Braunschweig, Schleinitzstr. 19.

Physikalische, Chemische u. Meteorologische Unterrichtsapparate u. Utensilien. Glastechn. Präzisionsarbeiten nach Angaben.

Apparate für flüssige Luft. — Coulombmeter nach Stephan D.R.G.M. — Elektroskope nach Elster und Geitel. — Fontaktoskop nach Engler und Apparate für atmosphärische Elektrizität nach Exner etc. — Flüssige Gase in Röhren CO_2, Cl. — Normal-Geißlerröhren-Serie, Kompendium. — Original-Vakuumskala nach Chas. R. Cross. — Vakuumröhren nach Braun, Crookes, Geißler, Lecher, Puluj, Röntgen, Tesla, Wehnelt. — Vorlesungsapparate nach Hofmann, W. Levin, Lüpke, Pizzarello.

Zu kaufen gesucht:

Archiv für Elektrotechnik, Bd. 2–7, 9–12
Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1905-09, -14, -20, -22, auch einzelne Hefte
Review for Glasswork 1923
Baur, Elektr. Kabel
Dietrich, Betriebswissenschaft
Donath, Rotierende Scheiben
Geiger, Eisen- und Stahlgießerei
Haedicke, Technologie des Eisens
Handbuch der Elektrotechnik, Bd. V, Dynamobau
Hanemann, Metallographie
Heyn, Metallographie
Hort, Differentialgl. d. Ing.
Kaplan, Francis-Turbinen-Laufräder
Kemmann, Selbsttätige Signalanlagen
Krause, Anlasser und Regler
Krause, Formspulenwickelung
Kurrein, Werkzeuge und Arbeitsverfahren
Martens, Materialienkunde I, IIa
Nesper, Drahtlose Telegraphie und Telephonie
Schlesinger, Selbstkostenberechnung
Schuchardt-Sch., Technisches Hilfsbuch 3A
Strecker, Jahrbuch d. Elektrotechnik 1912/24 kplt. u. 1915

Gefl. Angebote unt. J.K. 6411 durch d. Exped. d. Ztschr.

Voigt & Hochgesang, Göttingen

Fabrik für Dünnschliffe
von Gesteinen, Mineralien usw.

Dünnschliff-Sammlungen für Schulen u. Anfänger

Kristallmodelle aus Glas,
Holz und starker Pappe. Canadabalsam
Mineralogische, Geologische
Bedarfsartikel [6453]

Neu erschienen:

31 Glasbilder zur Kristallröntgenographie
vorgeschlagen von Prof. Dr. F. Rinne, Leipzig

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

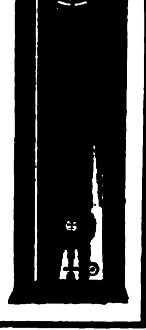
Soeben erschien:

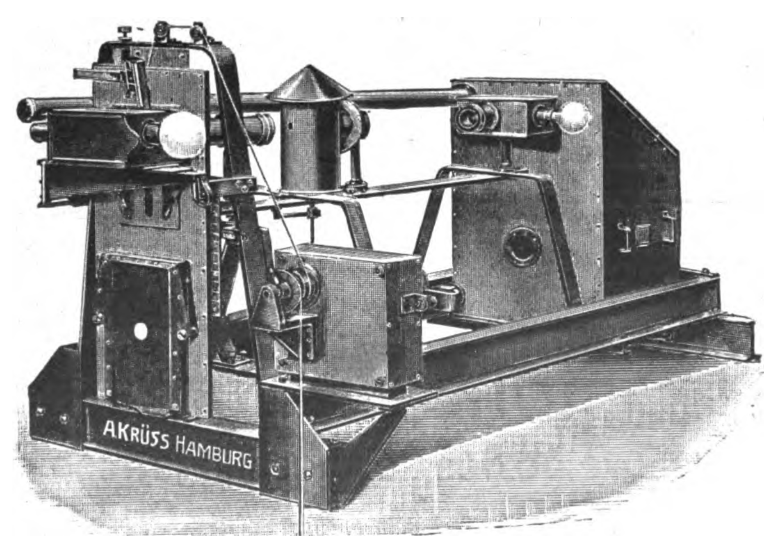
Über Wärmeleitung und andere ausgleichende Vorgänge. Von Dr. **Emil Warburg**, Professor an der Universität Berlin. 116 Seiten mit 18 Abbildungen. 5.70 Goldmark



Präzisions-Reißzeuge
(Rundsystem)
Astronomische Uhren
Nickelstahl-Kompensations-Pendel

Clemens Riefler
Fabrik mathematischer Instrumente
Nesselwang u. München
Gegründet 1841





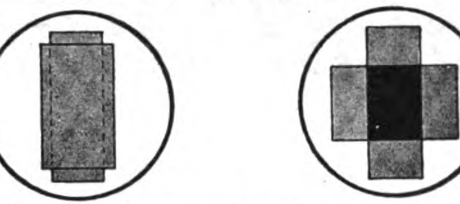
Photometrisch registrierender Komparator nach Koch-Goos
Registrier-Mikro-Photometer nach Koch-Goos

A. KRÜSS
Hamburg
Gertigstraße 31
Inh. **Dr. Paul Krüss**

Spektroskope
Spektrographen
Kolorimeter
Photometer
Physikal. Apparate
Funkeninduktoren
Projektionsapparate
Lichtbilder

Digitized by Google

Dr. Steeg & Reuter — Bad Homburg v. d. Höhe



Kristalloptik

Polarisations-Prismen Polarisations-Instrumente
Spektralprismen aus Quarz und Glas

[6466]

Carl Schleicher & Schüll
Düren, Rheinland



empfehlen

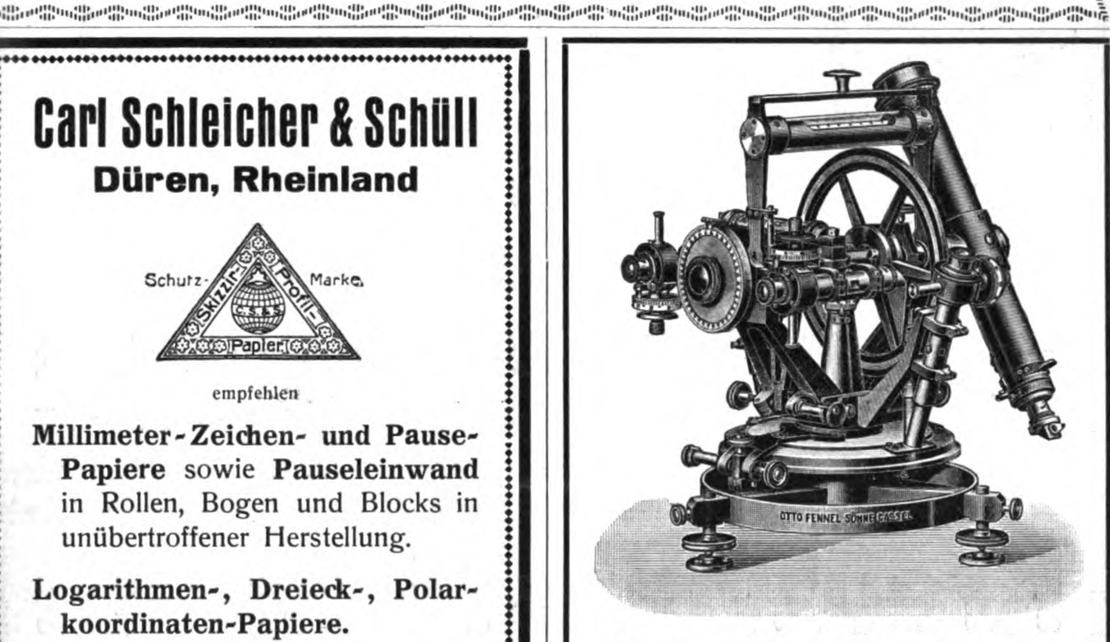
Millimeter-Zeichen- und Pause-Papiere sowie **Pauseleinwand** in Rollen, Bogen und Blocks in unübertroffener Herstellung.

Logarithmen-, Dreieck-, Polarkoordinaten-Papiere.

Registrierpapiere aller Art.

Allerbeste Zeichen-, Pause-, durchsichtige Entwurf-Papiere, Pauseleinwand.

Muster auf Anfrage kostenlos



Theodolite / Tachymeter
Nivellier-Instrumente

OTTO FENNEL SÖHNE
CASSEL 3
Gegründet 1851

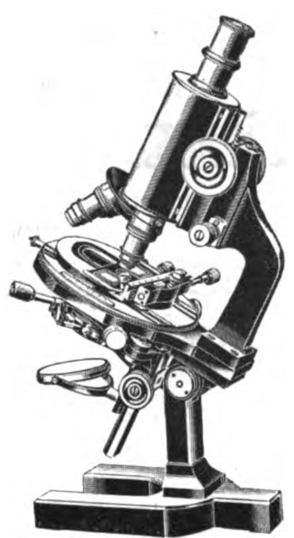
Präzisions-Optik

Prismen
Planparallelplatten
Spiegel

Optische Anstalt Carl Möller
Wedel bei Hamburg

Digitized by Google

Voigtländer



Mikroskope

*

Werkstattmikroskope

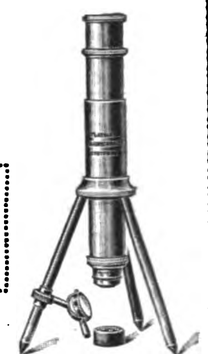
*

Lupen

erstklassiger Ausführung

*

Internationale Ausstellung Turin
1923
Grosser Preis für Mikroskope



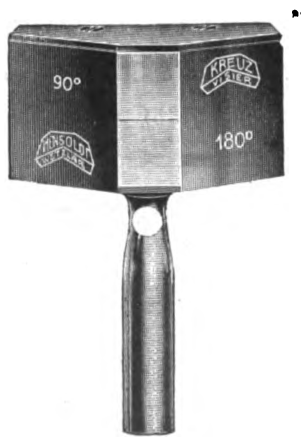
Druckschrift kostenlos

Voigtländer & Sohn Aktiengesellschaft
Optische Werke :-: Braunschweig

Kreuzvisier-Hensoldt

Prismenkreuz für 90° und 180°

Modell 1924.



Vorzüge des neuesten Modells:
Eintritt und Austritt der Strahlen
rechtwinklig
zu jedem Prisma.
Keine Versilberung
Helles, farbenreines Bild
Staubsichere, dauerhafte Fassung.
Preis: M. 16.—.

HENSOLDT · WETZLAR ·

Verlangen Sie Sonderliste:
Kreuzvisier-Hensoldt.

Zweigstelle: Hensoldt Handelsgesellschaft m. b. H. Berlin W 30, Nollendorfstraße 21a.

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Albert Ulrich, Berlin-Steglitz.

Digitized by Google

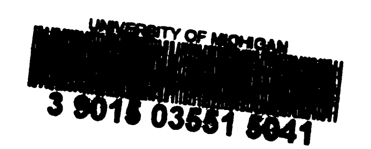
Digitized by Google

Digitized by Google

BOUND

MAY 9 1925

UNIV. OF MICH.
LIBRARY





Digitized by Google



Digitized by Google